

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2017**

**Josef Jarolím**

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektroniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Návrh a realizace brány mezi sítěmi IQRF a RS-485 s  
komunikačním protokolem FINET**

**Design and implementation of gateway between IQRF and RS-485  
networks with communication protocol FINET**

**2017**

**Josef Jarolím**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Josef Jarolím**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2612T041 Řídicí a informační systémy  
Téma: **Návrh a realizace brány mezi sítěmi IQRF a RS-485 s komunikačním protokolem FINET**  
**Design and Implementation of Gateway between IQRF and RS-485 Networks with Communication Protocol FINET**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Nastudování komunikace prostřednictvím IQRF.
2. Nastudování telemetrické stanice M4016 a komunikačního protokolu FINET.
3. Návrh a realizace brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě.
4. Návrh a realizace brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení.
5. Testování vytvořených prototypů.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] FIEDLER-MÁGR. *M4016 - Univerzální registrační a řídicí jednotka*. [online] Datasheet. České Budějovice: Fiedler-Mádr, 2009. [cit. 2016-10-07]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/>.
- [2] FIEDLER-MÁGR. *APL-101 - Popis komunikačního protokolu FINET*. [online] Aplikace. České Budějovice: Fiedler-Mádr, 2009. [cit. 2016-10-07]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/>.
- [3] MICRORISC s.r.o. *IQRF - Technology for wireless*. [online]. [cit. 2016-10-07]. Dostupné z: <http://iqr.org/weben/index.php>.
- [4] BRTNÍK, Bohumil a David MATOUŠEK. *Algoritmy číslicového zpracování signálů*. Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-400-2.

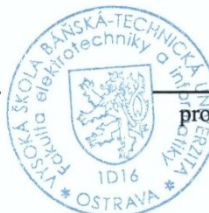
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Pieš, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017

  
doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 02. 05. 2017

Podpis:  .....

**Poděkování**

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Martin Pieš, Ph.D. za cenné rady, konzultace i připomínky spojené s mou prací.

## **Abstrakt (CZ)**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací bran mezi sítěmi IQRF a RS-485 s komunikačním protokolem FINET a to pro dvě varianty. První varianta, brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě je připojena k telemetrické stanici a předává této stanici hodnoty změřené pomocí modulů IQRF node. Telemetrická stanice využívá RS-485 s komunikačním protokolem FINET ke komunikaci s bránou. Druhá varianta, brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení je naopak připojena k měřicí jednotce. Tato jednotka využívá ke komunikaci s okolím RS-485 s komunikačním protokolem FINET a brána změřené hodnoty předá do sítě vytvořené technologií IQRF.

### **Klíčová slova:**

IQRF, M4016, FINET, RS-485, Brána

## **Abstract (EN)**

This thesis deals with two variants of design and implementation of gateways between IQRF and RS-485 Networks with Communication Protocol FINET. First variant, a gateway FINET/IQRF as coordinator of Network is connected to a telemetric station. Gateway gives values, that are aquired by modules IQRF node, to the station. The station uses RS-485 Network with Communication Protocol FINET. Second variant, a gateway IQRF/FINET as end device is on the contrary connected to a measuring unit. The unit uses RS-485 Network with Communication Protocol FINET to communicate with other devices. The gateway IQRF/FINET gives measured values to Network created by technology IQRF.

### **Keywords:**

IQRF, M4016, FINET, RS-485, Gateway

# Obsah

<b>Seznam použitých symbolů a zkratk:</b> .....	<b>8</b>
<b>Seznam použitých ilustrací</b> .....	<b>10</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Úvod</b> .....	<b>12</b>
<b>2 Technologie pro bezdrátové spojení IQRF</b> .....	<b>13</b>
2.1 <i>IQMESH</i> .....	14
2.2 <i>SPI sběrnice</i> .....	14
2.3 <i>UART sběrnice</i> .....	15
2.4 <i>TR-54D</i> .....	15
2.5 <i>Bezdrátové měřicí moduly IQRF node</i> .....	16
2.6 <i>Analýza komunikace mezi koordinátorem a moduly IQRF node</i> .....	17
<b>3 Telemetrická stanice M4016, měřicí převodník TEP06 a komunikační protokol FINET 20</b>	
3.1 <i>Přípojný desky pro M4016</i> .....	21
3.2 <i>Možnosti komunikace stanice M4016</i> .....	22
3.3 <i>Síťové rozhraní RS-485</i> .....	22
3.4 <i>Sběrnice RS-485</i> .....	22
3.5 <i>Komunikační protokol FINET</i> .....	23
3.5.1 <i>Služba CONNECT</i> .....	25
3.5.2 <i>Služba KS_RDKAN</i> .....	25
3.6 <i>Nastavení parametrů kanálu pomocí programu MOST</i> .....	25
3.7 <i>Měřicí převodník TEP06</i> .....	26
3.8 <i>Analýza komunikace mezi stanicí M4016 a převodníkem TEP06</i> .....	27
<b>4 Návrh a realizace brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě</b> .....	<b>31</b>
4.1 <i>Brána – síťový prvek</i> .....	31
4.2 <i>Brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě</i> .....	31
4.3 <i>Návrh funkčních celků</i> .....	31
4.4 <i>Návrh zapojení</i> .....	32
4.5 <i>Deska plošných spojů pro bránu</i> .....	38
4.6 <i>Návrh programu pro mikrokontrolér</i> .....	39
4.7 <i>Ladění programu pro mikrokontrolér</i> .....	41
4.8 <i>Poškození z důvodů neopatrné manipulace</i> .....	44
<b>5 Návrh a realizace brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení</b> .....	<b>46</b>

5.1	<i>Návrh schématu zapojení</i> .....	47
5.1.1	Zdroj napájecího napětí.....	48
5.1.2	Zdroj pro napájení připojeného měřicího zařízení.....	49
5.2	<i>Tvorba a ladění programu</i> .....	51
5.3	<i>Úpravy vyrobené desky brány</i> .....	52
5.4	<i>Úprava doby měření hodnot z měřicího převodníku TEP06</i> .....	56
<b>6</b>	<b>Testování hotových bran</b> .....	<b>58</b>
6.1	<i>Testování funkčnosti brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě (varianta 1)</i> .....	58
6.2	<i>Testování funkčnosti brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení</i> .....	61
6.3	<i>Měření potřebného napájení obou bran</i> .....	63
<b>7</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>65</b>
	<b>Seznam použité literatury</b> .....	<b>66</b>
	<b>Seznam příloh</b> .....	<b>68</b>



## Seznam použitých symbolů a zkratek:

0x	obvykle uvedeno před číslem, číslo před nímž je uvedeno je v hexadecimální (šestnáctkové) soustavě
ADC	digitální reprezentace analogové hodnoty
Ah	Ampérhodina, jednotka elektrického náboje
COM	virtuální komunikační port
CS	signál sběrnice SPI, Chip Select, určuje se kterým zařízením probíhá komunikace pomocí této sběrnice
DC	Direct Current, stejnosměrný elektrický proud
DPA	Direct Peripheral Access, protokol pro ovládání uzlů IQMESH sítě
GPIO	General Purpose Input Output, obecný vstup výstup
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, elektricky vymazatelná paměť pouze pro čtení
ErrN	Error Number, identifikátor chyby
FRDM	Freescale Freedomboard, vývojová deska
GND	Ground, uzemnění, v této práci použito pro označení potenciálu 0 V
Hi	higher, většinou použito u označení bajtu s vyšší vahou
HWPID	Hardware profile ID, identifikátor hardwarového profilu
I2C	Inter-Integrated Circuit, sběrnice tvořená dvěma vodiči, jeden pro hodinový signál druhý pro data
IQMESH	MESH síť vytvořená pomocí technologie IQRF
kBaud	jednotka udávající přenosovou rychlost
k $\Omega$	kiloohm, jednotka elektrického odporu, tisíce $\Omega$
LED	Light Emitting Diode, jedná se o diodu, která vyzařuje světlo
Lo	lower, většinou použito u označení bajtu s nižší vahou
mA	miliampér, jednotka elektrického proudu
MCU	Microcontroller, jedná se o jednočipový mikropočítač
MESH	smíšená topologie sítě, každý uzel sítě má spojení s jedním nebo více uzly této sítě
MHz	megahertz, jednotka frekvence, milion hertzů
MISO	signál sběrnice SPI, Master In Slave Out, signál kterým master data přijímá a slave data vysílá
mm	milimetry, jednotka délky, tisícina metru

MOSI	signál sběrnice SPI, Master Out Slave In, signál kterým master data odesílá a slave data přijímá
ms	milisekunda, jednotka času, tisícina sekundy
MΩ	megaohm, jednotka elektrického odporu, značí miliony Ω
NADR	Node ADReSS, adresa uzlu (node) sítě vytvořené pomocí technologie IQRf
PC	Personal Computer, počítač
PCMD	Peripheral CoManD, identifikátor příkazu pro periférii
PData	data obsažené ve zprávě přenášené sítí, vytvořené technologií IQRf
PNUM	Peripheral NUMber, identifikátor periferie
RX	receive, signál používaný pro příjem dat
s	sekunda, základní jednotka času
SCK	signál sběrnice SPI, Serial Clock, hodinový signál této sběrnice
SDI	signál sběrnice SPI, Serial Data In, signál kterým zařízení data přijímá
SDO	signál sběrnice SPI, Serial Data Out, signál ze kterého jsou odesílána data ze zařízení
SPI	Serial Peripheral Interface, čtyřvodičová sběrnice, tvořená čtyřmi signály: SCK, CS nebo SS a SDI s SDO nebo MISO s MOSI
SS	signál sběrnice SPI, Slave Select, určuje se kterým zařízením probíhá komunikace pomocí této sběrnice
TR	transreceiver, přijímač/vysílač
TX	transmit, signál používaný k odesílání dat
RAM	Random Access Memory, paměť s náhodným přístupem
SPI	Serial Peripheral Interface, jedná se o čtyřvodičové sériové rozhraní
UART	Univarsal asynchronous receiver/transmitter, universální asynchronní přijímač/vysílač
USB	Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice používaná k připojení periférií k počítači
V	volt, základní jednotka elektrického napětí
μA	mikroampér, jednotka elektrického proudu, miliontina ampéru
Ω	ohm, základní jednotka elektrického odporu

## Seznam použitých ilustrací

Obr. 1: Rozložení programu v mikrokontroléru obsaženém uvnitř IQRF modulu [15].....	13
Obr. 2: Porovnání názvů signálů dle konvencí, červeně NXP, černě MICROCHIP [17].....	14
Obr. 3: Zjednodušené schéma zapojení pro modul TR-54D.....	16
Obr. 4: Postupné dotazování jednotlivých modulů IQRF node .....	18
Obr. 5: Spuštění automatického dotazování, vlevo tvar zasílaného požadavku, vpravo odpověď od koordinátora .....	18
Obr. 6: Výpis z IQRF IDE .....	19
Obr. 7: Rozhraní RS-485 ve stanici M4016 a definice klidových potenciálů datových signálů.....	22
Obr. 8: Sběrnice RS-485 .....	23
Obr. 9: Komunikační rámec protokolu FINET [5].....	24
Obr. 10: Nastavení analogového kanálu stanice M4016 v programu MOST [1].....	26
Obr. 11: Barevné značení žil kabelu pro připojení TEP06 [9] .....	27
Obr. 12: Analýza komunikace protokolu FINET na sběrnici RS-485 .....	27
Obr. 13: Průběh první zprávy z obvyklých párů na sběrnici RS-485.....	28
Obr. 14: Průběh druhé zprávy z obvyklých párů na sběrnici RS-485 .....	29
Obr. 15: Neobvyklá zpráva na sběrnici RS-485.....	29
Obr. 16: Jedno měření na převodníku TEP06 při použití dvou kanálů, zeleně napájení převodníku TEP06, žlutě komunikace na sběrnici RS-485 .....	30
Obr. 17: Pohled na síť s navrhovanou bránou FINET/IQRF v roli koordinátora sítě.....	31
Obr. 18: Funkční návrh brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě .....	32
Obr. 19: Schéma zapojení fyzického ovladače RS485 s ochranami .....	33
Obr. 20: Schéma zapojení IQRF modulu a k němu připojených signalizačních diod.....	33
Obr. 21: Schéma zapojení bondovacího tlačítka .....	34
Obr. 22: Oddělení sběrnice SPI mezi mikrokontrolérem a IQRF modulem .....	34
Obr. 23: Schéma zapojení spínání napájení IQRF modulu .....	35
Obr. 24: Schéma zapojení mikrokontroléru, který celý most ovládá .....	37
Obr. 25: Schéma zapojení regulátoru napětí .....	38
Obr. 26: Osazená a zapojená brána Varianta 1 .....	38
Obr. 27: První návrh celkové smyčky programu .....	39
Obr. 28: Stavový automat pro obsluhu protokolu FINET .....	41
Obr. 29: Zapojení pro prvotní zkoušení FINET slave (vlevo schéma, vpravo fotka) .....	42
Obr. 30: Převodník TC485 – detail LED diod .....	42
Obr. 31: Aplikace Hercules SETUP použitý pro komunikaci s COM portem.....	43
Obr. 32: Vývojový diagram funkce FinetSlaveIqrfCoordinator .....	44
Obr. 33: Chybová hláška prostředí IQRF IDE – TR module is missing or corrupted .....	45
Obr. 34: Pohled na síť s navrhovanou bránou IQRF/FINET v roli koncového zařízení.....	46
Obr. 35: Funkční návrh brány FINET/IQRF v roli koncového zařízení .....	46
Obr. 36: Spínání napájení pro části brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení, vlevo spínač pro napájení mikrokontroléru, vpravo spínač pro napájení senzoru.....	47
Obr. 37: Zapojení tří děličů pro nastavení chování čipu ADP5090 .....	48
Obr. 38: Schéma zapojení čipu LTC1872 [26] .....	50

Obr. 39: Vývojový diagram programu pro mikrokontrolér brány IQRf/FINET v roli koncového zařízení .....	52
Obr. 40: Změřený časový průběh vyčítání hodnot z měřicího převodníku TEP06, žlutě odesílaný dotaz před driverem sběrnice RS-485, fialově průběh napájecího napětí převodníku, modrá a zelená datové vodiče sběrnice RS-485.....	53
Obr. 41: Změřená odesílaná zpráva, požadavek o změřenou hodnotu z kanálu 4, žlutá a zelená jsou signály sběrnice RS-485, modře je přepis do hodnot šestnáctkové soustavy.....	54
Obr. 42: Změření přijaté zprávy, poškozená zpráva se změřenou hodnotou, žlutá a zelená jsou signály sběrnice RS-485, modře je přepis do hodnot šestnáctkové soustavy .....	55
Obr. 43: Upravená deska samotné brány IQRf/FINET v roli koncového zařízení (varianta 2 deska 2) .....	55
Obr. 44: Změřené hodnoty zapsané ve struktuře v mikrokontroléru (obrázek pořízen z prostředí Ozon) .....	56
Obr. 45: Získávání hodnot jednotlivých kanálů z měřicího převodníku TEP06, zelenou napájecí napětí převodníku, žlutou signál z kanálu B sběrnice RS-485.....	56
Obr. 46: Měření nejkratší doby napájení měřicího převodníku TEP06 .....	57
Obr. 47: Schéma zapojení pro testování brány FINET/IQRf v roli koordinátora sítě.....	58
Obr. 48: Zapojení pro otestování brány FINET/IQRf v roli koordinátora sítě.....	58
Obr. 49: Nastavení telemetrické stanice M4016 vlevo, nastavení měřicího kanálu vpravo .....	59
Obr. 50: Výstup mostu změřené hodnoty.....	59
Obr. 51: Výstup mostu změřené hodnoty, senzory uměle ochlazený pro otestování že algoritmus převádí i záporné změřené teploty .....	60
Obr. 52: Změřená hodnota zobrazená na displeji telemetrické stanice M4016.....	60
Obr. 53: Vzhled brány FINET/IQRf v roli koordinátora sítě.....	61
Obr. 54: Schéma zapojení pro testování brány variant 2.....	61
Obr. 55: Zapojení pro otestování funkčnosti programu brány IQRf/FINET v roli koncového zařízení .....	62
Obr. 56: Zaznamenání dotazu koordinátoru, jeho potvrzení a následné přijetí odpovědi od brány.....	62
Obr. 57: Schéma zapojení měření odebíraného proudu brány FINET/IQRf v roli koordinátora sítě (varianta 1) .....	63
Obr. 58: Schéma zapojení měření odebíraného proudu brána IQRf/FINET v roli koncového zařízení (varianta 2, deska 2) .....	63

## Seznam tabulek

Tab. 1: Základní technické parametry stanice M4016-G [3] .....	20
Tab. 2: Přehled Přípojných desek stanice M4016 [1] .....	21
Tab. 3: Obvyklé značení žil kabelů pro připojení snímačů ke stanici M4016 pomocí sběrnice RS-485 [4].....	23
Tab. 4: Přehled použitých signálů a jejich piny [13].....	36
Tab. 5: Odebíraný proud jednotlivých součástí.....	37
Tab. 6: Napájecí požadavky bran.....	64

# 1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací brány mezi sítěmi IQRF a RS-485 s komunikačním protokolem FINET. IQRF je technologie pro bezdrátové propojení a komunikaci. RS-485 je sběrnice sloužící pro metalické propojení a komunikaci. Byť se RS-485 a IQRF liší v mnohém, účel sítí jimi vytvořenými, dostat informaci z jednoho určitého zařízení k druhému, je stejný. Pro účely této diplomové práce je touto informací změřená hodnota teploty. Zdrojem této hodnoty je buď měřicím převodník TEP06 nebo měřicí moduly IQRF node. Cílovým zařízením je buď IQRF koordinátor sítě nebo telemetrická stanice M4016. Cílové zařízení následně tyto hodnoty zpracuje, dle jejího nastavení. Telemetrická stanice M4016 a měřicí převodník TEP06 jsou zařízeními, jež využívají ke komunikaci sběrnici RS-485 s komunikačním protokolem FINET. IQRF koordinátor i měřicí moduly IQRF node ke komunikaci používají technologii IQRF. Budou využity měřicí IQRF node v3.1 a IQRF node v5.1, jež byly vytvořeny v rámci projektu [22].

Druhá kapitola obsahuje popis sítě vytvořené pomocí technologie IQRF. Bližší pozornost je věnována způsobu komunikace bezdrátových modulů IQRF node v3.1 a IQRF node v5.1, jež jsou použity jako zástupci měřicích jednotek využívající komunikaci prostřednictvím technologie IQRF.

Třetí kapitola se zabývá podrobnějším popisem telemetrické jednotky M4016. Sběrnici RS-485 a službami protokolu FINET. Nakonec je zde analyzována zaznamenaná komunikace mezi telemetrickou stanicí a měřicím převodníkem TEP06.

Čtvrtá kapitola popisuje návrh a následnou realizaci brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě. Tato brána bude připojená k telemetrické jednotce M4016 a bude jí předávat hodnoty změřené pomocí modulů IQRF node.

Pátá kapitola se zabývá návrhem a realizací brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení. Tato brána bude naopak připojená k měřicímu zařízení, jež využívá sběrnici RS-485 a protokolu FINET (pro tuto práci měřicí převodník TEP06) a bude předávat změřené údaje do sítě vytvořené technologií IQRF.

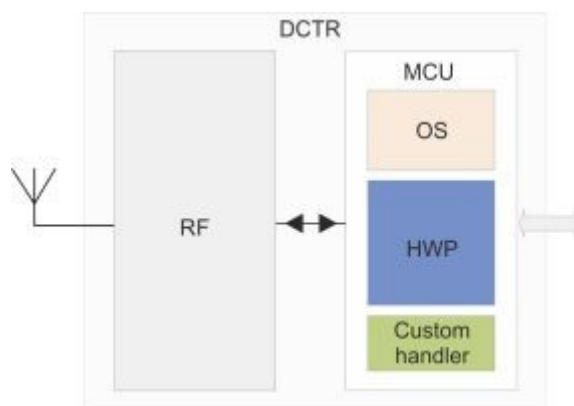
Šestá kapitola popisuje testování vytvořených bran.

V závěru práce jsou zhodnoceny obě výsledné brány, jejich vlastnosti i návrh pro budoucí aplikace.

## 2 Technologie pro bezdrátové spojení IQRF

IQRF je platforma pro nízkoenergetický, pomalý, malokapacitní přenos dat pomocí bezdrátového spojení na desítky až stovky metrů, ve speciálních případech i několik kilometrů. Je vhodná pro například pro automatizaci budov, průmyslové ovládání. Může být použita s jakýmkoliv elektrickým zařízením, je-li požadován bezdrátový přenos informací, jako je vzdálené ovládání, monitoring nebo vzdáleně změřená data či bezdrátové propojení několika zařízení do bezdrátové sítě. [15]

IQRF je kompletní prostředí od jednoho výrobce od hardwaru, přes software, protokoly, podporu až po služby. IQRF je snadno připojitelná k internetu. [15]



**Obr. 1: Rozložení programu v mikrokontroléru obsaženém uvnitř IQRF modulu [15]**

Program uvnitř IQRF modulu se skládá z až tří částí. Základní částí je operační systém, který poskytuje základní funkcionalitu pro komunikaci v IQRF síti. Je to v podstatě firmware MCU, který se stará o správnou funkcionalitu všech komponent, obsažených v IQRF modulu. Další část lze rozdělit na dvě podkategorie, které se liší principem programování. [15]

První podkategorie je založena čistě na využití procedur, nabízených operačním systémem. Výhodou je větší flexibilita celého programového řešení, jednoduchost při použití peer to peer komunikace a možnost tvořit větší programy. Nevýhodou tohoto přístupu je ovšem složitost výsledného programu v případě použití topologie MESH se všemi prostředky pro správu a komunikaci v síti. [15]

Druhá podkategorie využívá tzv. hardwarových profilů (HWP), které generalizují a tím pádem ve výsledku zjednodušují postupy pro vytváření rozsáhlých bezdrátových sítí, jejich údržbu a komunikaci. V případě, že je potřeba funkcionalitu modulu ještě rozšířit, je možné do modulu naprogramovat Custom DPA handler, který využívá funkcí operačního systému IQRF a má předem definovanou strukturu. [15]

IQRF vysílač/přijímač vybavený hardwarovým profilem implementující vyšší vrstvu komunikace nad operačním systémem místo uživatelem vytvořeného kódu umožňuje aplikovat bezdrátovou technologii velice jednoduchou cestou. Namísto programování je specifická funkce dosažena jednoduchou kontrolou toku dat. Celá aplikace je stejně jednoduchá jako odesílání a přijímání dat pomocí UART sběrnice. [15]

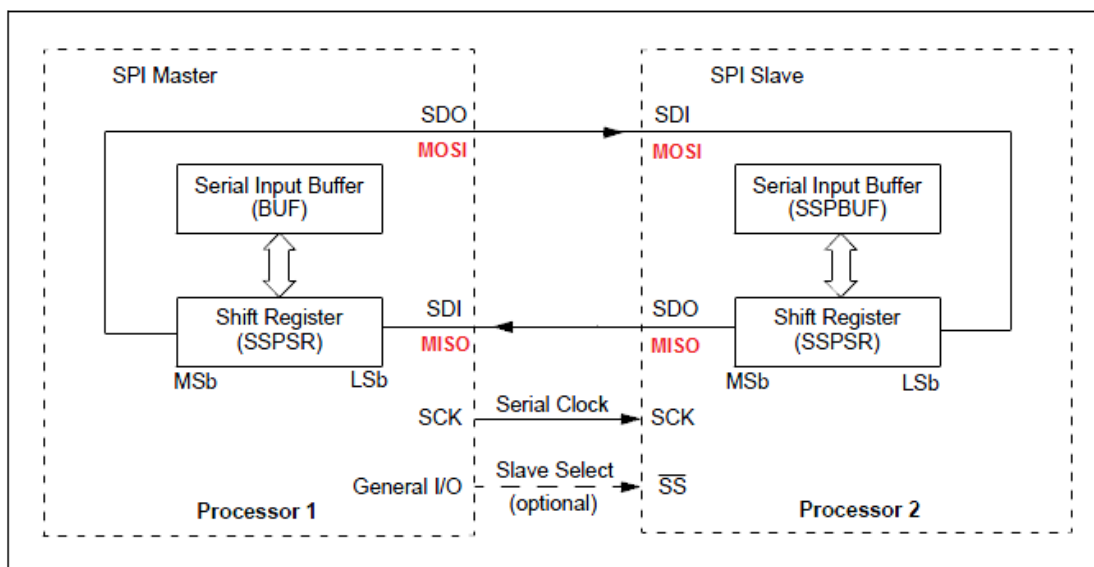
## 2.1 IQMESH

Síť IQMESH může pracovat na několika frekvencích 868/916/433 MHz, standardní rychlost přenosu dat odpovídá 19,2 kBaud. Celá síť se skládá z jednoho koordinátora a až 239 uzlů (node). Kdy každý uzel (node) může, ale nemusí být routerem.

Přenášené zprávy této sítě se označují jako packety. Přenesení packetu z koordinátora na uzel (node) nebo naopak, nebo přenesení packetu mezi dvěma uzly se označuje jako skok. Packet může udělat až 240 skoků, každý skok mu trvá jeden časový slot, 30 až 50 ms (doba každého časového slotu je závislá na velikosti přenášených dat a provozním režimu IQRF modulů).

## 2.2 SPI sběrnice

SPI (Serial Peripheral Interface) je synchronní sběrnice pracující v plném duplexu. Zařízení pracují v režimu Master/Slave, kdy Master inicializuje komunikaci. Slave zařízení je vybráno pomocí signálu Chip select (CS), známého i jako Slave select (SS). SPI sběrnice využívá čtyř signálů. Prvním je Chip select nebo též Slave Select. Druhým je Serial clock (SCK). U dalších dvou se NXP a Texas Instruments neshodnou v konvenci. Microchip používá označení Serial Data Out (SDO) a Serial Data In (SDI), zatímco NXP používá Master In Slave Out (MISO) a Master Out Slave In (MOSI). U Microchipu je jasné kterým signálem jsou data odesílána a kterým přijímána ať už je v režimu Master nebo v režimu Slave, u NXP však záleží na tomto nastavení a právě podle něj se určuje, který signál je příjem dat a který je jejich vysílání. [13][17]



Obr. 2: Porovnání názvů signálů dle konvencí, červeně NXP, černě MICROCHIP [17]

Jak je možné z Obr. 2 vidět, v případě značení signálu dle konvence používané společností NXP se připojují datové signály stejného jména na sebe, zatímco u konvence používané společností MICROCHIP se datové signály zapojují do kříže.

V této práci je použita konvence, kterou využívá společnost MICROCHIP. Pro spuštění komunikace se nejprve změní signál Slave select z logické jedničky na logickou nulu, následně se připraví do Shift registrů bajty k odeslání (na obou stranách), s hodinovými pulzy se postupně začnou postupně odesílat jednotlivé bity z obou stran. Po odeslání celého bajtu se přečte hodnota Shift registru (během osmi hodinových pulzů se hodnoty v obou registrech vyměnily). Je-li potřeba předat další bajty

tak se do shift registrů nahrají nové hodnoty a pokračuje se ve vysílání hodinových pulsů v opačném případě se posílání hodinových pulsů ukončí a signál Slave select je vrácen do logické jedničky. Signál Slave select a vysílání hodinových signálů řídí SPI Master. [17]

### **2.3 UART sběrnice**

UART (Univerzální asynchronní přijímač vysílač) je klíčový komponent pro sériovou komunikaci subsystémů v počítačových systémech. UART zpracovává bajty dat a odesílá jednotlivé bity za sebou, v místě určení druhý UART tyto bity složí zpět na bajty.[21]

Asynchronní přenos dat umožňuje, komunikaci bez přítomnosti dalšího hodinového signálu. Namísto toho se však musí příjemce i odesílatel shodnout na časových parametrech předem a speciální bity jsou přidány do každého slova. Tyto bity umožňují poznat, kdy začíná a končí byte ve zprávě. Synchronizace se provádí při změně logických úrovní na RX a TX linkách při komunikaci.

Když je slovo dáno UARTu k odeslání, bit označený jako Start Bit je přidán na začátek každého slova, které se má odeslat. Start Bit je používán k upozornění příjemce, že se připravuje vyslání slova dat a aby se synchronizovaly hodiny příjemce s hodinami odesílatele. Tyto dvojice hodiny musí být dost přesné, aby jejich rozdíl v kmitočtu nebyl větší než 10 % během přesunu zbytku slova (tento požadavek byl vytvořen v době vzniku prvních UARTů, dnes je snadné tento požadavek splnit). [21]

Po odeslání Start Bitu jsou odesílány jednotlivé bity slova od nejméně významného bitu (LSB). Každý bit je vyslán přesně stejně dlouhý časový úsek, a příjemce kontroluje stav linky přesně uprostřed tohoto úseku, aby bit přečetl. [21]

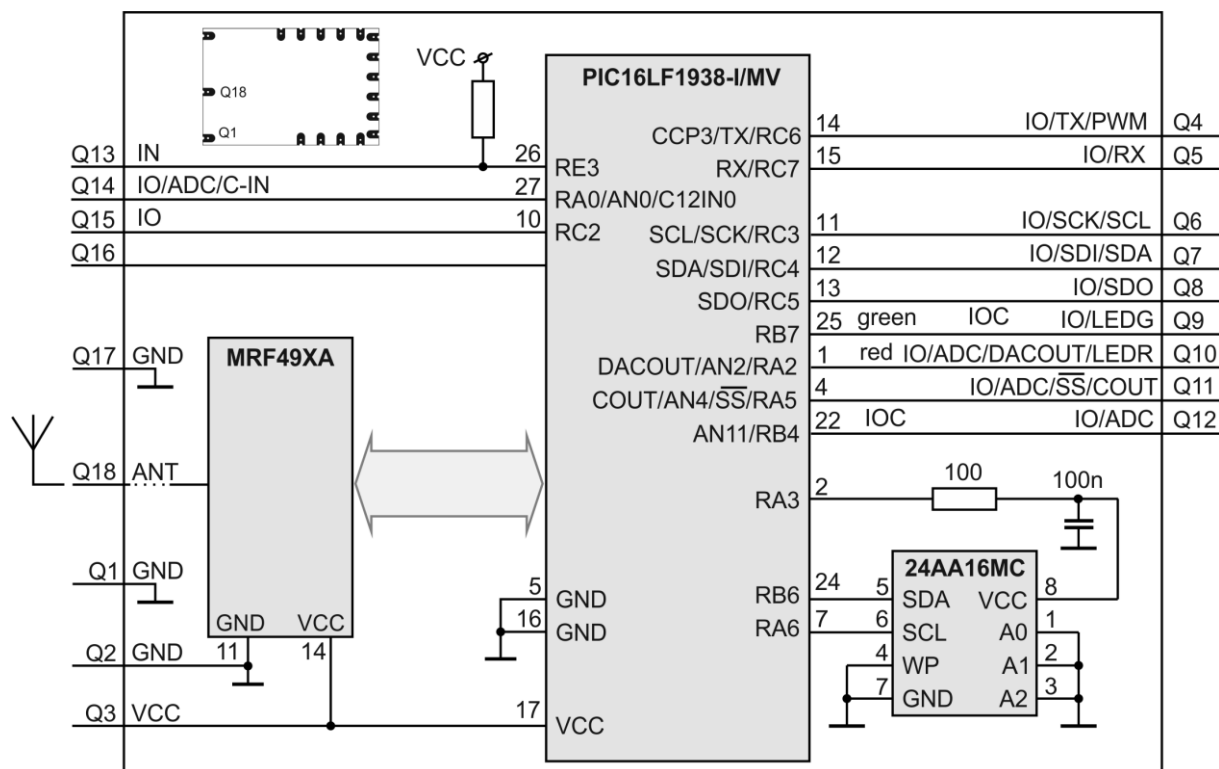
Odesílatel neví, kdy si příjemce bit přečte, ví jen, kdy má začít odesílat další bit. Když jsou všechna data odeslána, může odesílatel přidat paritní bit, k jednoduchému ověření přenesených dat. Pak následuje alespoň jeden Stop Bit.[21]

### **2.4 TR-54D**

TR-54D je IQRF přijímač/vysílač (transceiver) pracující na frekvencích pásmech 868 MHz a 916 MHz (volně přístupných frekvencích). Jedná se o celkové řešení, které je připravené k použití. Stejně jako ostatní má velice nízkou spotřebu elektrické energie (v LP režimu, při příjmu jen 330  $\mu$ A). Dosah jeho přenosu může být až 300 m, ale velice záleží na orientaci antény.

Dnes je pro nové produkty již doporučován jeho nástupce modul TR-76D, ale vzhledem k dostupnosti modulu TR-54D bude pro tuto práci využit tento starší modul.





Obr. 3: Zjednodušené schéma zapojení pro modul TR-54D

## 2.5 Bezdrátové měřicí moduly IQRF node

Jedná se o malá přenosná měřicí zařízení, která ke komunikaci využívají IQRF rozhraní. Jsou napájena bateriově a využívají komunikačních modulů TR-54D. Modul TR-54D je v těchto zařízeních je v roli uzlu (node). [22]

IQRF node v3.1 má přidělený identifikátor HWPID hodnoty 0x0612. Jedná se o měřicí modul pro měření teplot v rozmezí  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Umožňuje připojení dvou snímačů typu PT100. Pro získání naměřených hodnot je nutné provést dotazování pomocí DPA paketu. K provedení dotazování je nutné, aby byl snímač přibondován ke koordinátoru sítě. Tvar DPA paketu je následující (celková délka šest bajtů). [22]

NADR (Lo)	NADR (Hi)	PNUM	PCMD	HWPID (Lo)	HWPID (Hi)
00	01	20	00	12	06

Kde každé políčko představuje jeden bajt. NADR určuje dvou bajtovou adresu dotazovaného nodu. PNUM je označením periferie, v případě dotazu na teplotu u IQRF node v3.1 je použita uživatelská periferie s PNUM rovno 0x20. PCMD je číslem příkazu pro periferii, označenou PNUM. Ke čtení je v tomto případě použita hodnota 0x00. HWPID určuje hardwarový profil. Může nabývat buď hodnoty 0xFFFF, což značí, že koordinátor nerozlišuje konkrétní hardware, nebo musí odpovídat přidělenému identifikátoru, v tomto případě hodnotě 0x0612. Poznámka Lo označuje nižší bajt dané hodnoty, zatímco Hi označuje bajt vyšší. [22]

Koordinátor následně přijme potvrzení (confirmation) a posléze následuje odpověď (response). Tento snímač odesílá 4 bajty dat, v prvních dvou je změřená hodnota z prvního kanálu, ve zbývajících dvou je hodnota z druhého kanálu. Příklad odpovědi je takovýto: [22]

NADR		PNUM	PCMD	HWPID		ErrN	DPA	ADC		ADC	
(Lo)	(Hi)			(Lo)	(Hi)			Kanál 1		Kanál 2	
								(Lo)	(Hi)	(Lo)	(Hi)
01	00	20	80	12	06	00	55	CB	03	50	FD

Tato odpověď se skládá z dvanácti bajtů. První dva bajty (NADR) udávají adresu uzlu (node), který odpovídá. PNUM odpovídá hodnotě z dotazu, tedy 0x20. PCMD je odlišný pro odpověď je obvyklá hodnota větší o 0x80 (128 v desítkové soustavě) oproti hodnotě v dotazu. Nejinak je tomu i v tomto případě. Hodnota HWPID je dána přiděleným identifikátorem HWPID, v tomto případě 0x0612. ErrN udává hodnotu chybové hlášky, hodnota 0x00 označuje, že k chybě nedošlo. Hodnota DPA value je v současném nastavení síla signálu. Nakonec jsou v odpovědi obsaženy změřené hodnoty z obou kanálů. Pro převedení změřené hodnoty na teplotu se používá rovnice. [22]

$$T = 6,8971 \cdot 10^{-8} \cdot ADC + 1,8195 \cdot 10^{-2} \cdot ADC - 244,07 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

IQRF node v5.1 má přidělený identifikátor HWPID hodnoty 0x0712. Umožňuje připojení dvou 1-wire senzorů. Teplotní rozsah je stanoven použitými čidly DS18B20, na rozmezí -55 °C až 125 °C. Pakety pro dotazování mají stejný tvar jako u IQRF node v3.1 jen hodnota HWPID je jiná (a to 0x0712) a liší se způsob převedení hodnot z obou kanálů na teplotu. Pro převod kladných hodnot je v tomto případě nutné negovat nejvyšší bit vyššího bajtu a pak tuto hodnotu vynásobit číslem 0,625. Převod záporných hodnot je popsán v dokumentu [22].

## 2.6 Analýza komunikace mezi koordinátorem a moduly IQRF node

Program pro koordinátora je možné používat dvěma způsoby. Prvním způsobem je dotazovat se postupně každého uzlu (node) zvlášť. Jak je možné vidět na Obr. 4 je při tomto postupu nutné odeslat koordinátoru modře podbarvené žádosti o změřená data, koordinátor potvrdí přijetí žádosti (béžové podbarvení) a následně přijde od uzlu (node) zpráva s aktuální hodnotou (zelené podbarvení). Tento postup je poměrně náročný na množství dat, jež je nutné přemístit pomocí SPI sběrnice mezi koordinátorem a mikrokontrolérem.

Line	Time	ΔTime	Rx/Tx	Length	Data HEX	DPA Message	Error	NADR
22	15:21:40.793	00:00:07.164	Tx	6	01.00.20.00.FF.FF.	Request		0x01 Node 1
23	15:21:40.811	00:00:00.018	Rx	11	01.00.20.00.FF.FF.FF.32.01.08.01.	Confirmation		0x01 Node 1
24	15:21:41.591	00:00:00.780	Rx	12	01.00.20.80.12.07.00.3E.A5.81.00.8F.	Response		0x01 Node 1
25	15:21:44.593	00:00:03.002	Tx	6	02.00.20.00.FF.FF.	Request		0x02 Node 2
26	15:21:44.611	00:00:00.018	Rx	11	02.00.20.00.FF.FF.FF.3F.02.08.02.	Confirmation		0x02 Node 2
27	15:21:45.391	00:00:00.780	Rx	12	02.00.20.80.12.07.00.5F.A8.81.00.8F.	Response		0x02 Node 2
28	15:21:47.723	00:00:02.332	Tx	6	03.00.20.00.FF.FF.	Request		0x03 Node 3
29	15:21:47.741	00:00:00.018	Rx	11	03.00.20.00.FF.FF.FF.3D.03.08.03.	Confirmation		0x03 Node 3
30	15:21:48.531	00:00:00.790	Rx	12	03.00.20.80.12.07.00.50.A0.81.00.8F.	Response		0x03 Node 3
31	15:21:51.183	00:00:02.652	Tx	6	05.00.20.00.FF.FF.	Request		0x05 Node 5
32	15:21:51.201	00:00:00.018	Rx	11	05.00.20.00.FF.FF.FF.48.05.08.05.	Confirmation		0x05 Node 5
33	15:21:51.781	00:00:00.580	Rx	12	05.00.20.80.12.06.00.38.9E.05.44.FE.	Response		0x05 Node 5

**Obr. 4: Postupné dotazování jednotlivých modulů IQRF node**

Druhá možnost je umožněna díky Custom DPA handleru nahraném v koordinátoru. Tento handler umožňuje automatické dotazování. Druhou možností tedy je zadat koordinátorovi, aby se dotazoval postupně všech uzlů (node), jež jsou k němu přibondovány a vyčítat pouze odpovědi od jednotlivých uzlů. Tento přístup vyžaduje nejprve nastavit prodlevu mezi cykly dotazování a také maximální adresu nodu, kterého se bude koordinátor dotazovat. Oba tyto údaje jsou uloženy v paměti EEPROM, takže je stačí zadat jednou a i při vypnutí a znovu zapnutí si je bude koordinátor pamatovat. Custom DPA handler umožňuje nastavit toto automatické dotazování s prodlevou mezi cykly v krocích po pěti sekundách od 5 s do 1275 s. Je třeba toto cyklické čtení spustit. K tomu slouží příkaz na Obr. 5 vlevo. Adresa koordinátora je 0x0000 a adresa 0x00 v paměti RAM odpovídá místu, z něhož koordinátor vyčítá nastavení, zda má periodicky dotazovat uzly (nody).

Protocol: DPA (Request)				Protocol: DPA (Response)			
NADR:	0x0000	00000	(Coordinator)	NADR:	0x0000	00000	(Coordinator)
PNUM:	0x05	005	(RAM)	PNUM:	0x05	005	(RAM)
PCMD:	0x01	001	(Write)	PCMD:	0x81	129	(Write)
HWPID:	0xFFFF	65535	(To All HWP)	HWPID:	0x000F	00015	(Unknown)
PDATA[2]				ErrN:	0x00	000	(Error no)
[0]	0x00	000	(Addr)	DPA value:	0x54	084	
[1]	0x00	000	(PData[0])	PDATA[0]			

**Obr. 5: Spuštění automatického dotazování, vlevo tvar zasílaného požadavku, vpravo odpověď od koordinátora**

Na Obr. 5 vpravo je odpověď od koordinátora, že zápis proběhl úspěšně. Na Obr. 6 je zobrazena reakce koordinátora na tento zápis a je zde vidět i následné vypisování získaných odpovědí od přibondovaných uzlů. V tomto případě bylo přibondováno pět uzlů (node) z toho čtyři IQRF node v5.1 a jeden IQRF node v3.1.

Line	Time	ΔTime	Rx/Tx	Length	Data HEX	DPA Message	Error	NADR
67	12:02:06.431	00:05:17.490	Tx	8	00.00.05.01.FF.FF.00.00.	Request		0x00 Coordinator
68	12:02:06.445	00:00:00.014	Rx	8	00.00.05.81.0F.00.00.54.	Response		0x00 Coordinator
69	12:02:07.258	00:00:00.813	Rx	12	01.00.20.80.12.07.00.47.93.81.00.8F.	Response		0x01 Node 1
70	12:02:08.058	00:00:00.800	Rx	12	02.00.20.80.12.07.00.51.94.81.00.8F.	Response		0x02 Node 2
71	12:02:08.858	00:00:00.800	Rx	12	03.00.20.80.12.07.00.56.90.81.00.8F.	Response		0x03 Node 3
72	12:02:09.668	00:00:00.810	Rx	12	04.00.20.80.12.07.00.55.8F.81.00.8F.	Response		0x04 Node 4
73	12:02:09.928	00:00:00.260	Rx	12	05.00.20.80.12.06.00.55.CB.03.50.FD.	Response		0x05 Node 5
74	12:02:15.698	00:00:05.770	Rx	12	01.00.20.80.12.07.00.44.92.81.00.8F.	Response		0x01 Node 1
75	12:02:16.488	00:00:00.790	Rx	12	02.00.20.80.12.07.00.4F.94.81.00.8F.	Response		0x02 Node 2
76	12:02:17.298	00:00:00.810	Rx	12	03.00.20.80.12.07.00.55.90.81.00.8F.	Response		0x03 Node 3
77	12:02:18.108	00:00:00.810	Rx	12	04.00.20.80.12.07.00.55.8F.81.00.8F.	Response		0x04 Node 4
78	12:02:18.358	00:00:00.250	Rx	12	05.00.20.80.12.06.00.55.1F.03.5C.FF.	Response		0x05 Node 5
79	12:02:20.361	00:00:02.003	Tx	8	00.00.05.01.FF.FF.00.01.	Request		0x00 Coordinator
80	12:02:20.375	00:00:00.014	Rx	8	00.00.05.81.0F.00.00.55.	Response		0x00 Coordinator

Obr. 6: Výpis z IQRF IDE

### 3 Telemetrická stanice M4016, měřicí převodník TEP06 a komunikačního protokol FINET

První verze stanice M4016 vznikla roku 1997, tehdy však neobsahovala GSM/GPRS datovou komunikaci. Ta byla doplněna v roce 2004, kdy vznikl také server umožňující datahosting těchto stanic. Dnes je tato stanice k dostání v mnoha verzích lišících se počtem vstupů a výstupů, v komunikaci s počítačem, v mechanickém provedení (s/bez držadla, s/bez vnější skříně, a podobně), v napájení a v programovém vybavení. Například varianta M4016-G zahrnuje při plném vybavení univerzální datalogger, telemetrickou stanici s vestavným GSM/GPRS modulem, programovatelný řídicí automat, PI regulátor a ve spojení s ultrazvukovými nebo tlakovými snímači hladiny i vícenásobný průtokoměr. Písmeno G v tomto typu znamená použití přípojně desky označené DPD. [1][2]

Nízká proudová spotřeba umožňuje dlouhodobé napájení celého přístroje z vestavěného dobíjecího bezúdržbového akumulátoru. Ten lze dále trvale dobíjet přímo v přístroji z připojeného externího síťového zdroje, nebo ze solárního panelu. V případě kdy má být stanice instalována v polních podmínkách bez možnosti dobíjení napájecího akumulátoru, je možné nastavit úsporný režim provozu. Vlastní úsporný režim provozu lze nastavit i pro vestavěný GSM modul. [1]

**Tab. 1: Základní technické parametry stanice M4016-G [3]**

Počet analogových vstupů	6 proudových vstupů (0)4–20 mA
Počet pulsně-binárních vstupů	8 (dalších 32 binárních vstupů – moduly DV2)
Počet rozhraní SDI-12	1
Počet rozhraní RS-485	1
Počet analogových záznamových kanálů	16
Počet binárních záznamových kanálů	40
Počet výstupních relé	2 (dalších 12 relé v externích modulech DV2)
Rozhraní pro připojení PC (notebooku)	RS-232
Teplotní vstup	3x PT100 (přípojná deska DPD-II, -III)
Kapacita datové paměti	2 MB (až 450.000 hodnot)
Hmotnost	2,6 kg bez akumulátoru
Pracovní teplota	-30 °C až +65 °C
Napájecí akumulátor	bezúdržbový gelový 12V / 9Ah (7,2Ah)
Rozměry	320mm x 215mm x 170mm
GSM/GPRS	900/1800 Mhz, Class 12 (4Rx/4Tx, 5MAX)

Uživatel má k dispozici až 16 záznamových kanálů, pro měření a archivaci analogových hodnot mnoha různých veličin, jako například průtoků, hladin (toků řek, v nádržích), tlaků a mnoha dalších.

Chody a poruchy zařízení nebo obecně stavy kontaktů může monitorovat až 40 binárních záznamových kanálů. Záznamové kanály nemají pevně přidělené vstupy. Ty mohou být různých typů a množství podle přípojné desky. Přidělení vstupu k měřicímu kanálu se děje při nastavování parametrů kanálu. Nastavení parametrů záznamových kanálů i všech ostatních parametrů se provádí z připojeného PC programem MOST. Tento program je možné stáhnout z webových stránek společnosti FIEDLER AMS s.r.o. v sekci Ke stažení. Poslední dostupná verze ke dni 14. 1. 2017 je verze 2. 30. 75 ze dne 19. 10. 2016. [1][3]

Změřené hodnoty signálů na jednotlivých vstupech se převedou na požadované měřené jednotky a v intervalu (takzvaný interval archivace) nastavitelném po minutě se ukládají do datové paměti. Tato paměť pojme statisíce hodnot včetně data a času jejich pořízení. Do této paměti jsou zaznamenávány i mimořádné události, jako například příjem či odeslání SMS, výskyt chyby, výpadek síťového napájení. Datová paměť uchovává uložené hodnoty i po odpojení přístroje od napájecího zdroje. Po zaplnění paměti jsou postupně přepisovány nejstarší uložené hodnoty. [1]

V normálním režimu s trvale zapnutým napájením čidel se do paměti stanice ukládají zprůměrované hodnoty naměřené za celý interval archivace. V úporném režimu, ve kterém centrální jednotka mezi jednotlivými měřeními odpojuje napájení čidel a sond a i sebe uvádí do režimu se sníženým příkonem je uložen pouze výsledek jediného měření, jež proběhne na konci intervalu archivace. [1]

### 3.1 Přípojná deska pro M4016

Vstupy a výstupy jsou umístěny na přípojovacích deskách, které jsou buď součástí řídicí jednotky, nebo se k jednotce připojují pomocí flexibilního plochého kabelu. Typ přípojných desek se volí pomocí prvního písmene za pomlčkou názvu stanice. V Tab. 2 je možné vidět přehled přípojných desek a jejich počty vstupů a výstupů. [1]

**Tab. 2: Přehled Přípojných desek stanice M4016 [1]**

Písmeno v objednací kódu	Přípojná deska	Digitálně analogové vstupy	Analogové vstupy	Digitální vstupy	Pulsně- binární vstupy	RS-485	Reléové výstupy
G	DPD	6	1	2	8	1	2
D	DPD II	6	3	2	4	1	2
L	MPD	4	-	-	2	1	1
A	APD	2	15	-	2	-	-
P	PPD	2	-	-	4	-	-

Všechny měřené signály, číslíkové propojení a napájecí vodiče se ke stanici M4016 připojují prostřednictvím přípojovací desky. Kterýkoliv vstup stanice, má-li být aktivní, musí být nejprve nastaven. Nastavení se provádí prostřednictvím měřicích kanálů, jichž může být nejvýše 56 (až 16 analogových a až 40 binárních). Mezi velký počet vstupů stanice je možno zařadit i síťové rozhraní RS-485, prostřednictvím kterého lze získávat data z připojených inteligentních měřicích sond a přes které se připojují i rozšiřující moduly. [1]

### 3.2 Možnosti komunikace stanice M4016

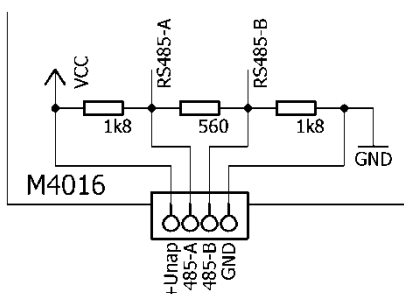
Všechny přenosy dat přes sběrnice RS232, RS-485 a datové přenosy v síti GSM jsou pod protokolem FINET (binární protokol s pevným rámcem). Přenosy paketů dat přes GSM/GPRS síť a komunikace v síti Ethernet probíhají pod TCP/IP protokolem. [1]

Programovým produktem řešícím agendu spojenou s údržbou a s vytvářením parametrických i datových souborů, je program MOST. [1]

### 3.3 Síťové rozhraní RS-485

Sériově vstupně-výstupní rozhraní umožňuje připojení i většího počtu zařízení vybavených protokolem FINET. Napájecí svorky výstupu mohou sloužit pro napájení těchto zařízení, celkový odběr by však neměl přesáhnout 300 mA, vzhledem k vestavěné nadproudové ochraně. Připojení více zařízení ke stanici M4016 klade požadavky na správné zapojení zařízení. Není vhodné zapojovat hvězdicovou síť, nýbrž je vhodné zařízení propojovat sériově od prvního k poslednímu. [1]

Oba konce vedení je potřeba z důvodu potlačení odrazů zakončit impedancí shodnou s impedancí vedení. Rovněž klidové potenciály obou datových vodičů musejí být napětově definovány. V jedné síti musí být minimálně na jednom zařízení datový A-vodič připojený přes rezistor 1,8 k $\Omega$  na kladné napájecí napětí a datový B-vodič přes další rezistor 1,8 k $\Omega$  na pracovní zem přístroje. Návrh zapojení stanice M4016 již obsahuje oba tyto rezistory pro definování klidového stavu a zakončovací rezistor o velikosti 560  $\Omega$  (popsané zapojení je vyobrazeno na Obr. 7). Pokud je třeba je možné snížit zakončovací rezistor připojením paralelního rezistoru mezi svorky 485-A a 485-B. [1]



**Obr. 7: Rozhraní RS-485 ve stanici M4016 a definice klidových potenciálů datových signálů**

Požadavek na přenos změřených hodnot od připojených zařízení směrem ke stanici je řízen výhradně ze stanice. Při nastavování parametrů kanálu pomocí programu MOST je tedy nutné zadat kromě adresy zařízení i číslo vnitřního kanálu měřicího zařízení. [1]

Síťová adresa stanice M4016 je ve výrobě nastavena na 1 a není nutno ji měnit. Výjimkou by byly buď síť stanic připojených přes převodníky k jednomu řídicímu systému (například počítač s programem most), nebo při mezipřístrojové SMS komunikaci, kdy k jedné řídicí stanici je připojeno více řídicích stanic. V těchto případech je možné nastavení síťové adresy stanic v rozsahu 1 až 4. [1]

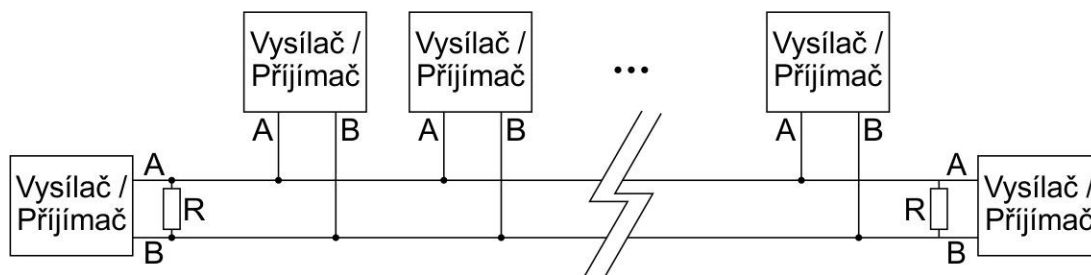
### 3.4 Sběrnice RS-485

Sběrnice RS-485 je dvouvodičová sběrnice, která umožňuje současnou komunikaci až 32 zařízení, které mohou mít role vysílačů/přijímačů. Funkčnost sběrnice je zajištěna tím, že všechny přijímače

i neaktivní vysílače se v klidu nachází ve stavu vysoké impedance a tedy neovlivňují komunikující zařízení. Pouze jedno zařízení na sběrnici může v danou chvíli pracovat jako vysílač, avšak veškeré řízení přenosu i jeho režie je přenecháno protokolu vyšší vrstvy, neboť samotná specifikace RS-485 nic neříká o tom, jak se mají zařízení vzájemně domluvit. Toto, v tomto případě, zajišťuje komunikační protokol FINET. [8]

U této sběrnice se při vysílání používá diferenční kódování dat – jedna polarita představuje logickou jedničku, opačná polarita logickou nulu. Rozdíl mezi oběma napětovými potenciály musí dosahovat hodnoty alespoň 0,2 V, obvykle se však používají mnohem vyšší rozdíly. [8]

Při použití kroucené dvojlinky a díky diferenčnímu kódování je možné data přenášet na poměrně velkou vzdálenost. Jako dosažitelná hranice, za běžných podmínek, se uvádí vzdálenost přibližně 1200 m, přičemž přenosová rychlost může dosahovat až 10 Mbit/s. Ovšem přenosová linka musí být správně zapojena – v tomto případě je nutné zapojit na oba konce linky rezistory odpovídající impedanci vedení (obvykle se uvádí přibližně 120  $\Omega$ ). [1][8]



**Obr. 8: Sběrnice RS-485**

Kabely pro připojení snímačů společnosti FIEDLER AMS s.r.o. pomocí sběrnice RS-485 ke stanici M4016 s výjimkou snímače PSH-30 používají značení žil kabelů dle Tab. 3. Jak je z popisu signálů v tabulce zřejmé, neslouží tyto kabely pouze pro přenos dat ale také pro napájení samotných snímačů. [4]

**Tab. 3: Obvyklé značení žil kabelů pro připojení snímačů ke stanici M4016 pomocí sběrnice RS-485 [4]**

Signál	+Unap	RS-485-A	RS-485-B	GND
Barva žíly	Hnědá	Žlutá (Šedá)	Bílá	Zelená

### 3.5 Komunikační protokol FINET

FINET je protokol s pevným rámcem (úvodní a ukončovací znak) určený pro přenos po duplexních i poloduplexních komunikačních kanálech. Měřicí přístroj se vždy chová jako SLAVE zařízení. Komunikaci vždy navazuje nadřazený systém na principu dotaz odpověď. Měřicí zařízení odpovídá na každý dotaz jemu určený, když ne, je to závažná chyba v komunikaci. [5]

Dalším parametrem, který je nutné dodržet je doba označená jako klid na lince. Tato doba je podmínkou pro rozeznání začátku bloku dat. Obvykle bývá nastavena na trojnásobnou dobu, než je doba potřebná k odeslání bajtu. Tato prodleva je nutná mezi každou zprávou, která projde po lince. Je také nutné dbát na maximální dobu mezi jednotlivými bajty zprávy. Po jejím vypršení je zbytek zprávy ignorován a čeká se na příchod nové zprávy v případě měřicího přístroje



nebo je vyslán opakovaný dotaz v případě stanice. Obvyklé nastavení komunikačního portu je 19200 bitů za sekundu, 8 datových bitů, žádná parita, 1 stop bit a žádné řízení toku dat. Místo stanice může být použit i počítač s programem MOST. [5]

## ***Komunikační rámec***

**Směr MASTER -> SLAVE - Zpráva (dotaz) bez datového pole**

SD1	DA	SA	FC	FCS	ED
-----	----	----	----	-----	----

**Směr MASTER -> SLAVE - Zpráva (dotaz) s datovým polem**

SD2	LE	LER	SD2R	DA	SA	FC	DATA.	FCS	ED
-----	----	-----	------	----	----	----	-------	-----	----

**Směr SLAVE -> MASTER - Odpověď bez datového pole - krátké potvrzení**

SACK
------

**Směr SLAVE -> MASTER - Odpověď bez datového pole**

SD1	DA	SA	FC	FCS	ED
-----	----	----	----	-----	----

**Směr SLAVE -> MASTER - Odpověď s datovým polem**

SD2	LE	LER	SD2R	DA	SA	FC	DATA.	FCS	ED
-----	----	-----	------	----	----	----	-------	-----	----

**Směr SLAVE -> MASTER - Negativní odpověď**

SD2	LE	LER	SD2R	DA	SA	FC	ER1	ER2	FCS	ED
-----	----	-----	------	----	----	----	-----	-----	-----	----

**Obr. 9: Komunikační rámec protokolu FINET [5]**

SD1 – úvodní znak 1, pevná hodnota \$10

SD2 – úvodní znak 2, pevná hodnota \$68

LE – délka dat, vlastní délka dat + 3 (DA,SA,FC)

LER – opakovaná délka dat

SD2R – opakovaný úvodní znak 2, pevná hodnota \$68

DA – cílová adresa zprávy

SA – zdrojová adresa zprávy

FC – řídicí bajt rámce – definuje službu rámce protokolu FINET

\$00 – odpověď CONNECT

\$08 – odpověď s daty

\$0C – negativní odpověď

\$69 – dotaz CONNECT

\$63 – dotaz zápis dat do jednotky

\$6C – dotaz čtení dat z jednotky

ER1 – kód negativní odpovědi

\$F1 – neznámý kód FC

ostatní kódy jsou určeny pro vyšší vrstvu

ER2 – rozšiřující data negativní odpovědi (pro vyšší vrstvu)

DATA – vlastní předávaná data (pro vyšší vrstvu)

FCS – kontrolní součet jako bajtový součet DA+SA+FC+ DATA[] modulo 256.

ED – koncový znak, pevná hodnota \$16

SACK – krátké potvrzení, pevná hodnota \$E5

V rámci komunikačního rámce poskytuje protokol FINET několik služeb. V rámci této práce budou využity služby CONNECT a KS\_RDKAN.

### **3.5.1 Služba CONNECT**

Služba CONNECT slouží pro inicializaci spojení se zařízením používajícím protokol FINET. Tato služba využívá rámce zprávy bez datového pole jak pro dotaz, tak pro odpověď. V dotazu je hodnota řídicího bajtu 0x69 a adresa cílového zařízení může buď odpovídat cílovému zařízení, nebo může být použita hodnotou 0x00. Odpověď má hodnotu řídicího bajtu 0x00 a pokud byla předtím použita místo adresy cílového zařízení hodnota 0x00 tak obsahuje i skutečnou adresu odpovídajícího zařízení. [5]

### **3.5.2 Služba KS\_RDKAN**

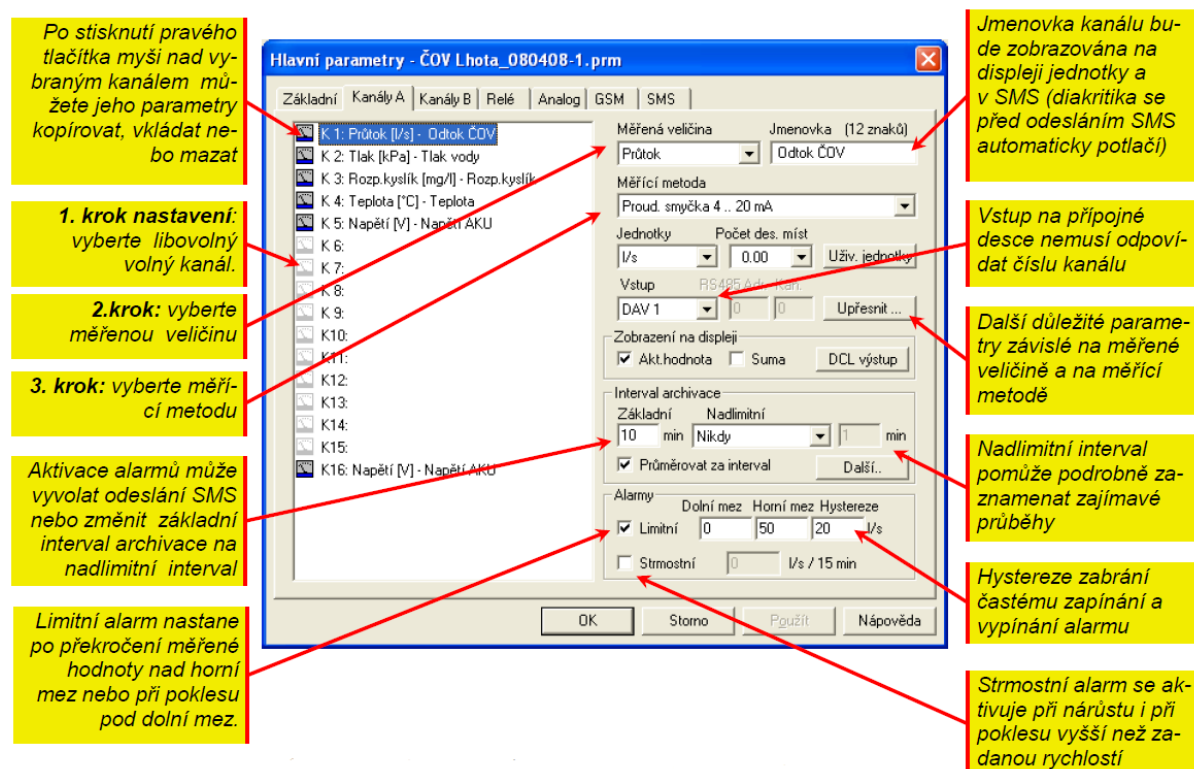
Tato služba je dostupná pouze u měřicích zařízení a slouží pro čtení naměřené hodnoty jednoho kanálu. Pro dotaz i odpověď jsou použity rámce zpráv s datovým polem. U dotazu je hodnota řídicího bajtu 0x6C a délka dat 8. Datové pole je tvořeno kódem služby 0x0E, číslem kanálu (1 až 16), kódem měřené veličiny (kterou není třeba uvádět), přesné požadavky (které taky není nutné uvádět) a rezervním bajtem (který je schovaný pro budoucí úpravy protokolu). Tyto hodnoty mají všechny velikost jednoho bajtu a přenáší se v tomto pořadí. [6]

Odpověď je hodnota řídicího bajtu 0x08 a délka dat 11. Datové pole obsahuje bajt uvádějící měřicí veličinu, bajt chybové hodnoty, bajt Format a rezervní bajt (zatím bez významu) za nimiž následuje čtyřbajtová hodnota typu float udávající naměřenou hodnotu ve formátu stanoveném normou IEEE-754. [6]

## ***3.6 Nastavení parametrů kanálu pomocí programu MOST***

Každá měřená veličina zaujímá ve stanici M4016 jeden kanál, jehož nastavení a paměťový prostor jsou zcela k dispozici jen této měřené veličině. U každého kanálu je možné nastavit velké množství parametrů. K dispozici je ve stanicích M4016 až 16 analogových kanálů. Kanál neodpovídá vstupu, jeden vstup může být zpracováván a archivován více kanály. [1]

Při nastavování kanálu se nejprve volí pořadové číslo kanálu. Následně se vybírá měřená veličina, od níž se odvíjí seznam měrných jednotek i seznam měřicích metod. Dále je třeba v seznamu měřicích metod zvolit typ výstupního signálu. Pro potřeby této práce je volena metoda Inteligentní sonda přes RS485/FINET. Pak je třeba nastavit jednotky (u některých veličin je výběr širší než u jiných), počet desetinných míst (maximální možný rozsah hodnot je 0 až 65535 nebo  $\pm 32767$ , možné jsou 0 až 3 desetinná místa, s každým desetinným místem se rozsah možných hodnot zmenší desítkrát), dvanácti znakový popis kanálu, jež se bude zobrazovat na displeji a v případě přenosu bude přenášen spolu s daty z kanálu. Následně by bylo voleno číslo vstupu na použité přípojné desce, avšak v případě metody Inteligentní sonda přes RS485/FINET se zadává adresa sondy a pořadové číslo kanálu sondy. Adresa sondy se uplatňuje až při připojení více zařízení k jednomu rozhraní RS-485. Každý kanál může mít nastaven svůj interval archivace a své mezní hodnoty alarmů. Příklad okna nastavování analogového kanálu je možné vidět na Obr. 10. [1]



Obr. 10: Nastavení analogového kanálu stanice M4016 v programu MOST [1]

### 3.7 Měřicí převodník TEP06

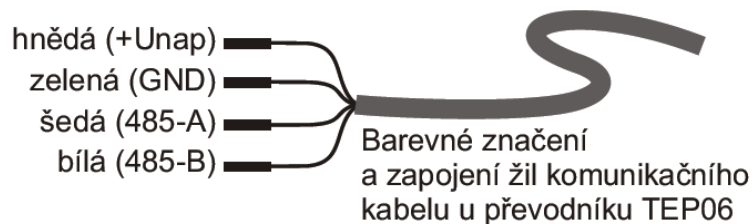
Měřicí převodník TEP06 bude pro tuto práci použit jako měřicí zařízení. TEP06 je měřicí převodník pro šest teplotních snímačů PT100. Tento převodník je vyráběn ve dvou variantách. První je TEP06, kdy jsou teplotní snímače součástí dodávky převodníku a jsou kabely požadovaných délek pevně a nerozebíratelně spojeny s převodníkem. Nebo ve variantě TEP06/S, kdy si teplotní snímače připojí pomocí svorek zákazník sám. [9]

Varianta TEP06, která je použita v tomto případě má převodník včetně ukončení kabelů od čidel zalité do vodovzdorné PUR hmoty. Toto provedení dovoluje bez dalších ochrany trvalý provoz převodníku i pod vodou nebo v půdě. Rozměry převodníku jsou 90x60x25 mm a váží 350 g.[9]

Převodník komunikuje s připojenou jednotkou po sběrnici RS485 pod protokolem FINET. Po stejném kabelu je převodník i napájen. Jeho napájecí napětí je v rozsahu 6 až 16 V DC, proudový odběr je menší než 10 mA. [10]

Pracovní teplota převodníku se pohybuje mezi -40 až 70 °C. Měřicí rozsah však dosahuje od -50 °C až k 100 °C (možno až +500 °C). Doba měření jednoho kanálu je menší než 0,3 s. [9]

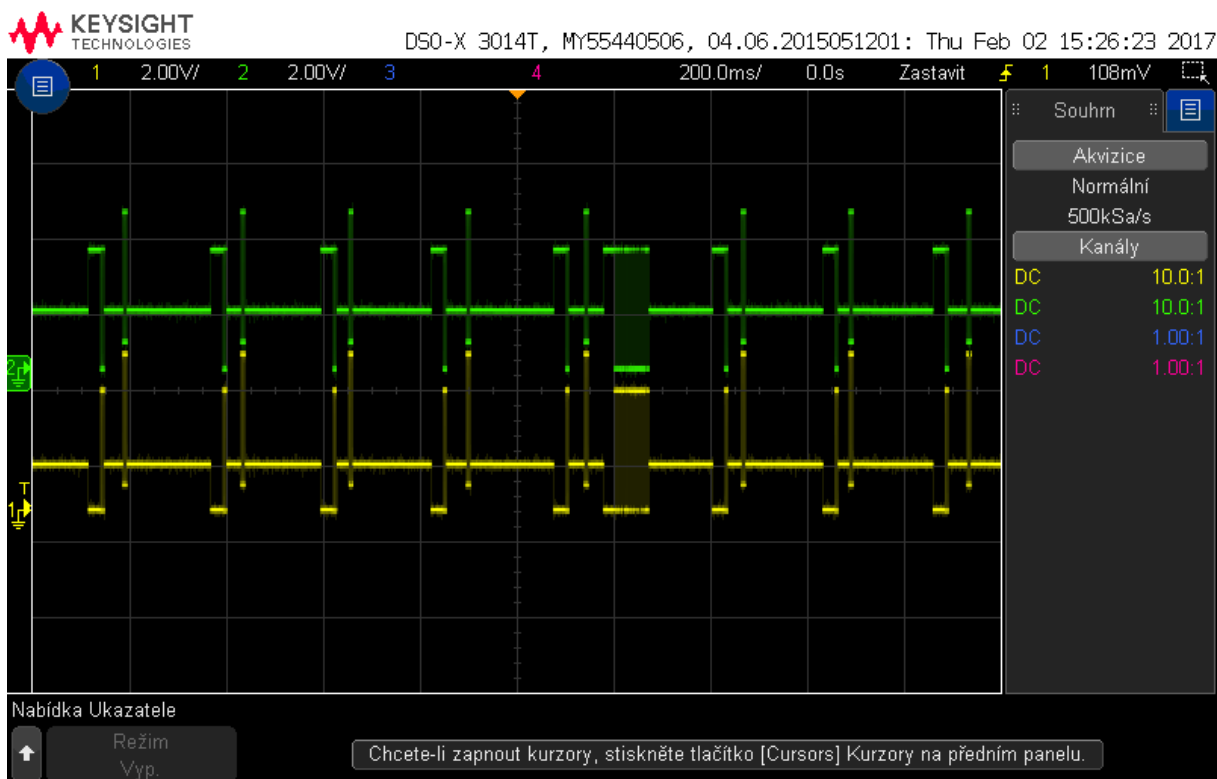
Převodník je spojen s nadřazenou jednotkou pomocí 4žilového kabelu odpovídajícího Tab. 3, tento je vyobrazen na Obr. 11. Obvyklá adresa převodníku TEP06 je 4 a k dispozici na něm jsou kanály 1 až 6. [9]



**Obr. 11:** Barevné značení žil kabelu pro připojení TEP06 [9]

### 3.8 Analýza komunikace mezi stanicí M4016 a převodníkem TEP06

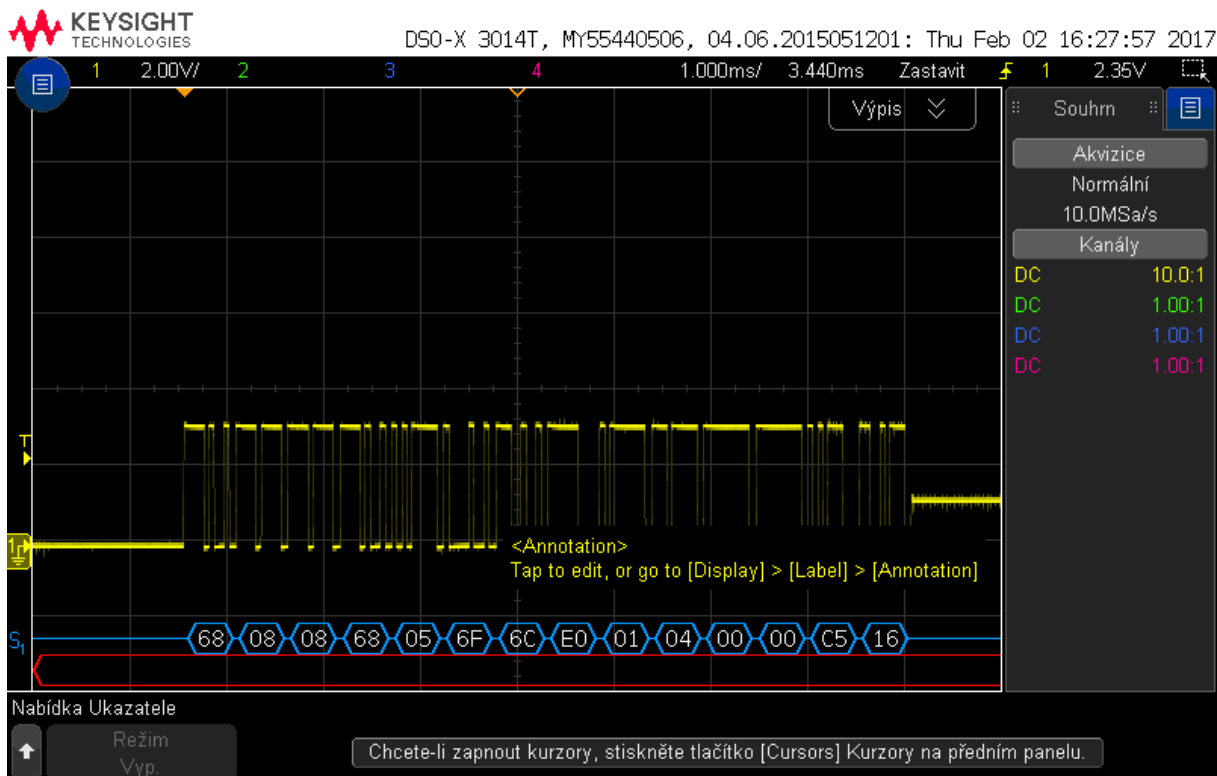
V kapitole 3.5 byl popsán komunikační protokol FINET. V této kapitole byly také popsány dvě služby tohoto protokolu. Protokol FINET obsahuje však mnohem více služeb. Za účelem zjištění služeb, které jsou při komunikaci mezi stanicí a převodníkem TEP06 využity, byl propojen měřicí převodník TEP06 s telemetrickou stanicí M4016. Pomocí osciloskopu byla analyzována komunikace na sběrnici RS-485. Nejprve byla analýza provedena během připojení jednotky k počítači s programem MOST. Byla zvolena časová základna 200 ms na dílek a rozsah 2 V na dílek pro oba kanály osciloskopu. Změřený průběh je vyobrazen na Obr. 12.



**Obr. 12:** Analýza komunikace protokolu FINET na sběrnici RS-485

Při změření průběhu vyobrazeném na Obr. 12 byl kanál jedna připojen na datový vodič B a kanál dvě byl připojen na datový vodič A. Jak je z průběhů vidět, pravidelně se opakuje dvojice krátkých zpráv, mezi nimiž je prodleva přibližně 230 ms. Jednou se objevila zpráva, jež nemá pár a je podstatně delší než ostatní.

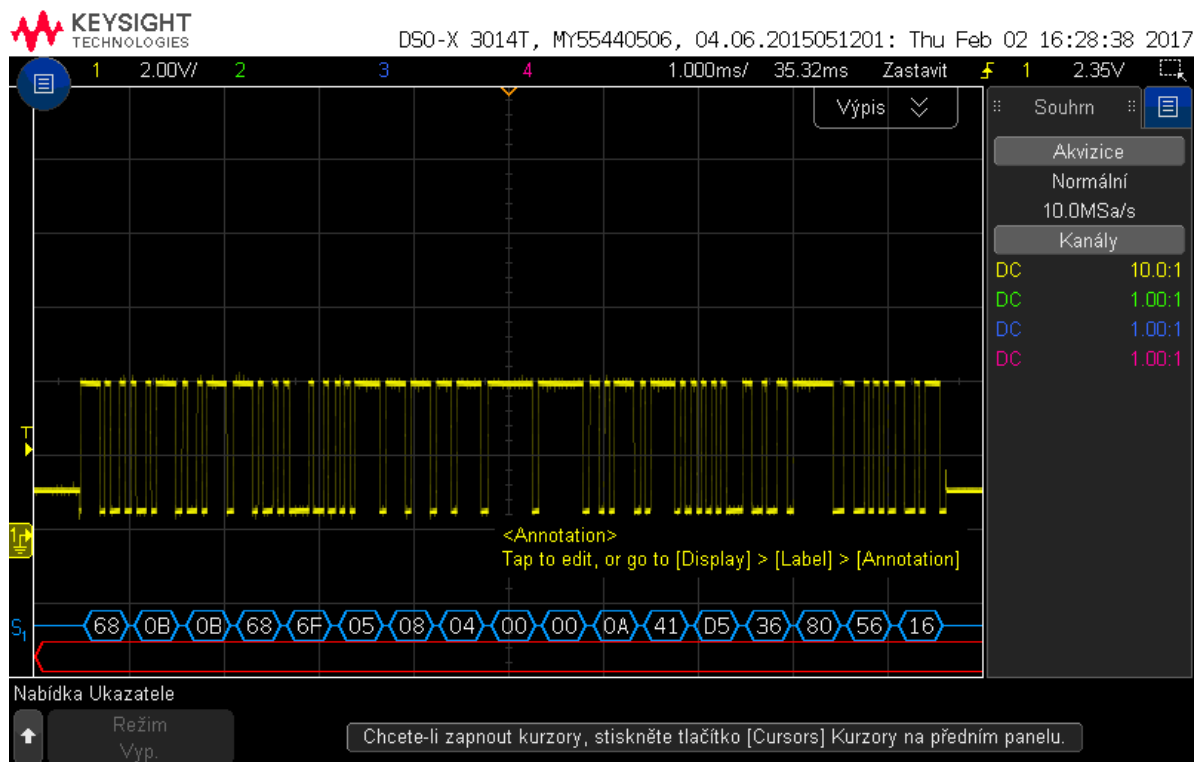
Nejprve byla blíže prozkoumána první zpráva z obvyklých párů. Signál pro toto měření je již brán pouze z vodiče B sběrnice RS-485. Změřený průběh je vyobrazen na Obr. 13.



**Obr. 13: Průběh první zprávy z obvyklých párů na sběrnici RS-485**

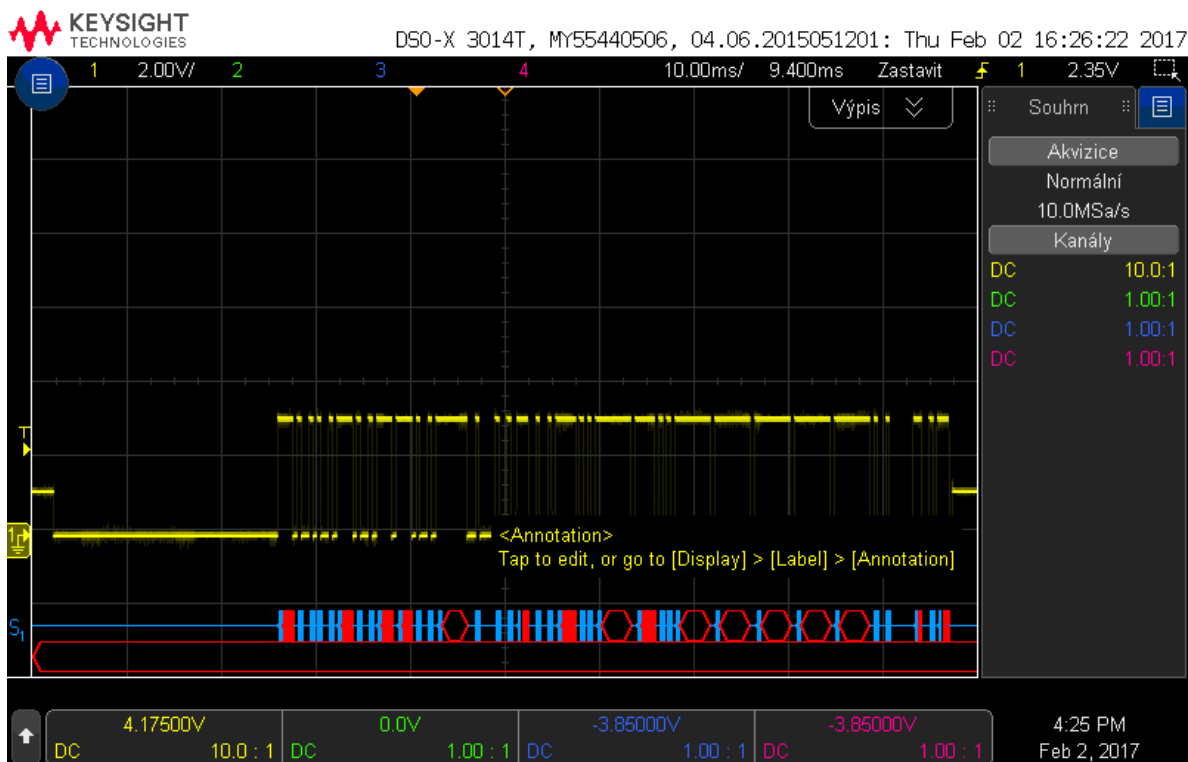
Žlutě je vyobrazen aktuální průběh napětí na vodiči B sběrnice RS-485. Pod ním je modro-bíle pro snadnější čtení informací překlad na hexadecimální hodnoty. Dle těchto hodnot je možné poznat dotaz služby KS\_RDVAL který žádá hodnoty od zařízení s adresou 0x05 (připojený TEP06). Je možné si všimnout, že tato telemetrická stanice má neobvyklou adresu 0x6F. Další hodnota 0x6C odpovídá řídicí hodnotě pro dotaz čtení dat z jednotky, následovaná hodnotou 0xE0 odpovídající službě KS\_RDVAL (čtení aktuální hodnoty jednoho kanálu).

Na obrázku Obr. 14 je průběh odpovědi na tento dotaz. Začátek (první čtyři bajty) odpovídá odpovědi s datovým polem, následuje adresa stanice M4016 po ní adresa převodníku TEP06. Další je funkční bajt 0x08 (odpověď s daty). Následuje hodnota 0x04 jež má na této pozici význam „změřená hodnota“ je hodnota teploty. Další tři bajty jsou chyba, formát a rezerva, za nimiž následují čtyři bajty hodnoty, kontrolní součet a ukončovací znak 0x16. Hodnota 0x41D53680 je po převedení na desetinné číslo podle normy IEEE-754 po zaokrouhlení 26,65. Což je hodnota teploty, měřená snímačem PT100.



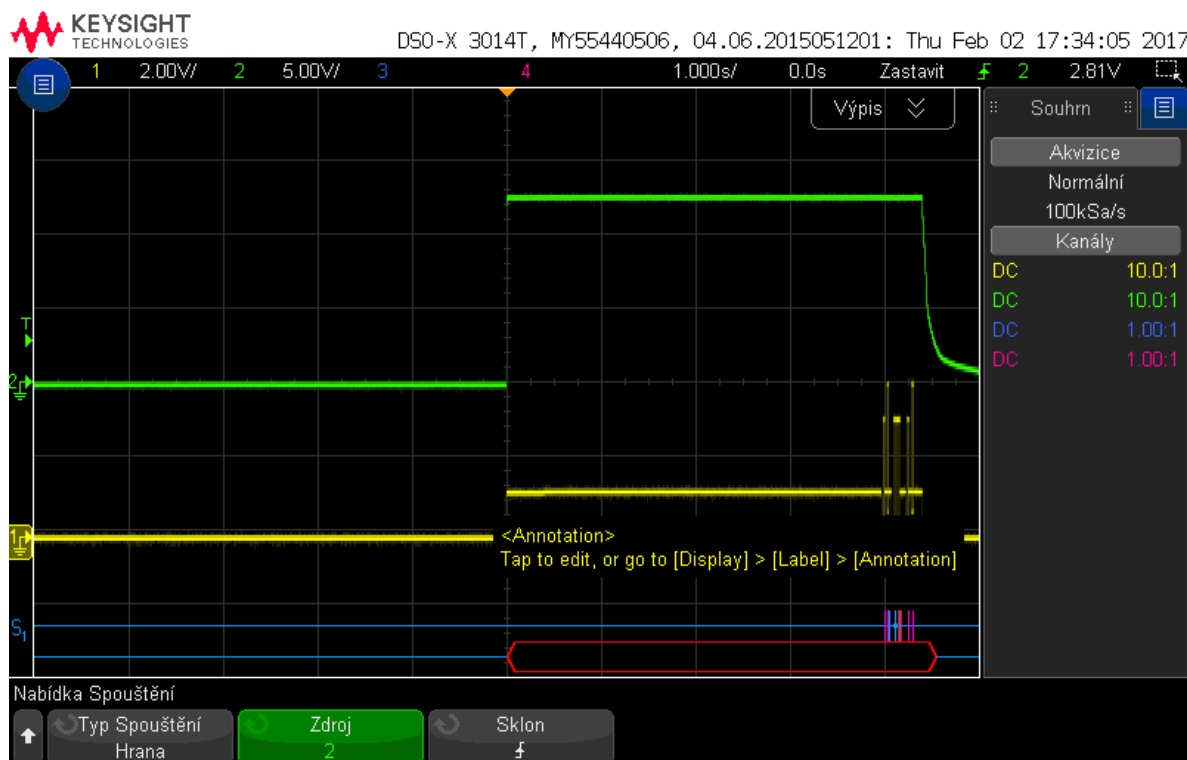
Obr. 14: Průběh druhé zprávy z obvyklých párů na sběrnici RS-485

Zbývá se blíže podívat na delší zprávu, jež neměla pár. Tuto zprávu se osciloskopu nepodařilo přeložit na hexadecimální hodnoty. Její význam se proto nepodařilo nalézt ani [5] ani [6]. Je však upozorněním, že brána bude muset být schopná si s takovou zprávou poradit.



Obr. 15: Neobvyklá zpráva na sběrnici RS-485

Pro ověření vlivu parametru stanice „Prodleva měření AV po zapnutí nap.“ je nakonec změřen průběh měření při odpojení stanice od počítače s programem MOST. Tento parametr by, dle svého názvu, měl umožňovat nastavení prodlevy od zapnutí napájení, pro vnější senzory, do počátku čtení hodnot. Stanice je natavena na snímání hodnot dvou kanálů převodníku TEP06. Zelenou barvou je označeno napájecí napětí převodníku TEP06 (s rozsahem 5 V na dílek) a žlutou opět vodič B sběrnice RS-485. Časová základna byla pro toto měření změněna na 1 s na dílek. Změřený průběh se nachází na Obr. 16.



**Obr. 16: Jedno měření na převodníku TEP06 při použití dvou kanálů, zeleně napájení převodníku TEP06, žlutě komunikace na sběrnici RS-485**

Jak je z průběhu patrné, není-li telemetrická stanice připojena k počítači s programem MOST, je průběh čtení hodnot z převodníku jiný. Když byla stanice připojena k počítači, docházelo ke čtení aktuálních hodnot pravidelně s intervalem přibližně 230 ms a převodník při tom musel být stále napájen. Nyní je převodník TEP06 obvykle odpojen od napájecího napětí. Jednou za stanovený interval je zapnut, následně jsou přečtena data potřebná dle nastavení stanice a pak je opět vypnut. Interval od zapnutí převodníku k přečtení jeho hodnot je možné ve stanici M4016 nastavit pomocí parametru „Prodleva měření AV po zapnutí nap.“. Díky nastavení tohoto parametru, jsou rozptýleny obavy o vypnutí brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě, dříve než budou získány a předány naměřené hodnoty.

## 4 Návrh a realizace brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě

### 4.1 Brána – síťový prvek

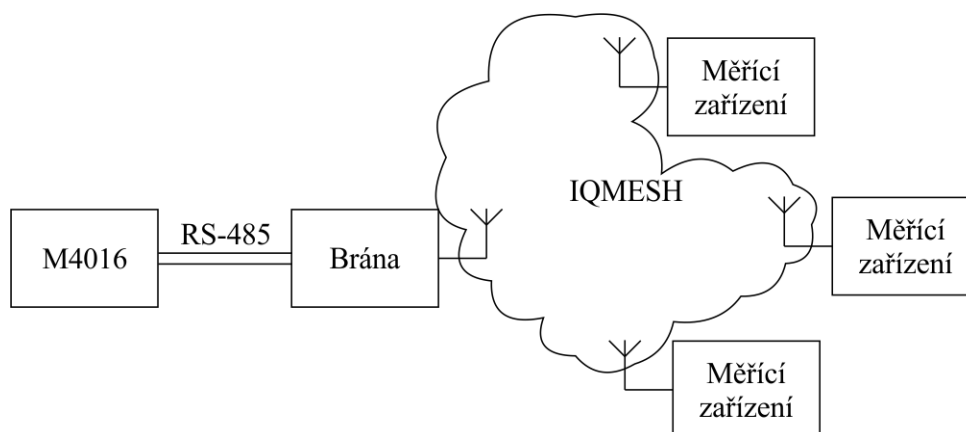
Brány jsou síťové prvky umisťované při potřebě propojení dvou rozličných sítí. Brána je schopná tyto dvě sítě propojit a prování potřebnou úpravu zpráv (konverzi protokolů), tak aby zprávy mohly v rámci možností volně přecházet z jedné sítě do druhé. Brány pracují na všech úrovních ISO/OSI modelu na nichž je to nutné. [18]

V tomto případě musí brány zvládnout převedení požadavku přicházejícího ze stanice M4016, ve formátu specifikovaném protokolem FINET, převést jej na paket sítě IQRF a na druhé straně jej opět převést zpět, dodat měřicímu zařízení a následně toto celé zopakovat v opačném pořadí pro odpověď senzoru.

Pro konečné řešení budou navrženy dva druhy bran. První typ bude nasazen v blízkosti stanice M4016 a bude k ní připojen – nebude tedy potřebovat vlastní zdroj elektrické energie, bude napájen z baterie stanice. Druhý typ brány bude nasazen v blízkosti senzoru a bude potřebovat vlastní zdroj elektrické energie. Tento zdroj bude napájet nejen bránu samotnou ale také připojený senzor. To je vlastně jediná odlišnost, co se navržení fyzické části bran týče. Z hlediska implementovaného programu budou rozdíly mnohem větší.

### 4.2 Brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě

Brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě (neboli varianta 1) bude připojena ke stanici čtyřmi vodiči (dva napájecí, dva pro sběrnici RS-485), stejně jako čidla. Bude se tedy ke stanici M4016 chovat jako čidlo, tedy z hlediska protokolu FINET jako SLAVE. Naproti tomu pro síť IQRF se bude muset chovat jako koordinátor sítě, jež bude dotazovat jednotlivé uzly (node) a získávat od nich změřené hodnoty. Část zapojení snímačů, jež budou ke stanici připojeny pomocí této brány, bude vypadat obdobně jako na Obr. 17.



Obr. 17: Pohled na síť s navrhovanou bránou FINET/IQRF v roli koordinátora sítě

### 4.3 Návrh funkčních celků

Většina logických obvodů však není stavěna na napětí přímo z baterie stanice (12 V DC), bude tedy potřeba blok elektronických obvodů věnujících se snížení napětí na požadovanou hodnotu a případnému odpojování některých dalších bloků od napájení, kvůli úspoře elektrické energie.

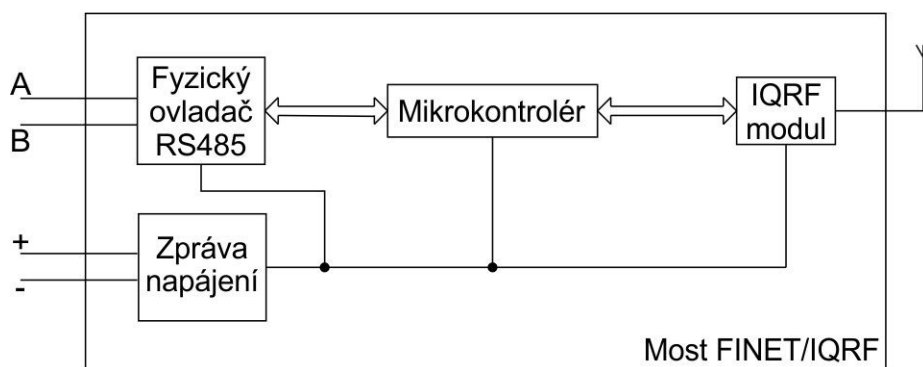


Další blok elektronických obvodů bude zajišťovat příjem zpráv od stanice M4016 a odesílání následných odpovědí. Tento blok však nemusí být zodpovědný za tvorbu těchto odpovědí jen za jejich korektní odeslání.

Je potřeba také blok zajišťující komunikaci na straně sítě IQRf. Tento blok se bude skládat hlavně z modulu TR-54D, který má většinu potřebných obvodů přímo v sobě, bude však potřebovat alespoň externí anténu aby zajistily lepší přenosové vlastnosti.

Chybí už jen centrální prvek, který zajistí překlad zpráv mezi FINET protokolem a sítí IQRf. Čip obsažený na modulu TR-54D by mohl tuto úlohu zastoupit, ale bude poměrně dost vytěžován komunikací, proto pro překlad bude použit samostatný mikrokontrolér.

Brána FINET/IQRf v roli koordinátora se tedy musí skládat ze čtyř bloků Fyzického ovladače RS-485, Zprávy napájení, IQRf modulu a Mikrokontroléru. Zpráva napájení musí zajistit zásobování elektrickou energií pro všechny bloky. Mikrokontrolér číst zprávy přicházející ať už z IQRf modulu nebo přes Fyzický ovladač RS-485 ze stanice M4016 přečíst je, přeložit do formy druhého z těchto dvou a odeslat předepsaným postupem dále. Funkční schéma na Obr. 18 toto všechno zobrazuje přehlednou formou.

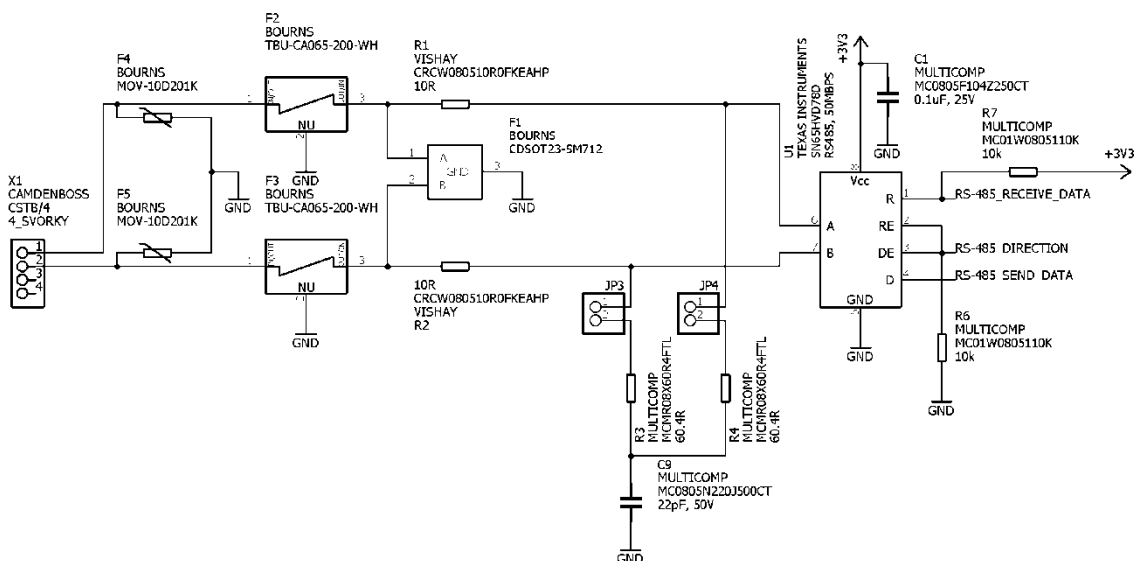


**Obr. 18: Funkční návrh brány FINET/IQRf v roli koordinátora sítě**

#### **4.4 Návrh zapojení**

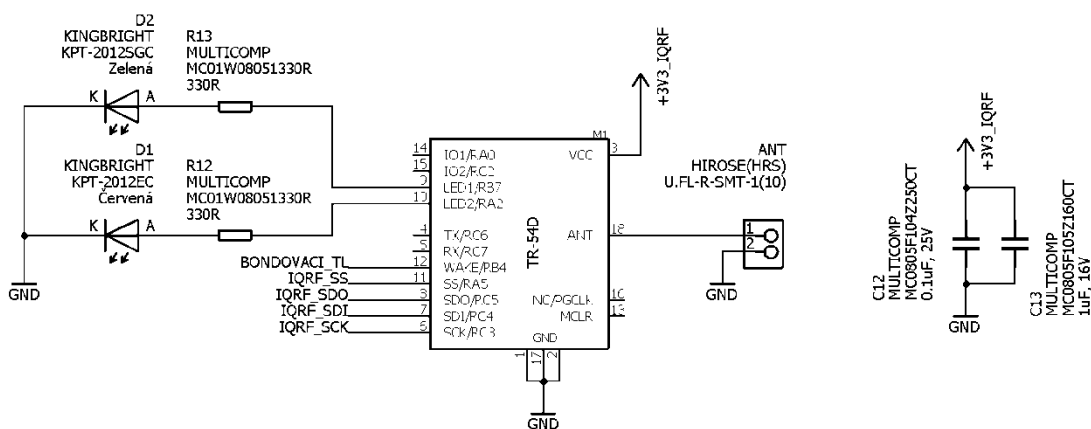
Nejdříve je navržen blok Fyzického ovladače RS-485. Levné a nízkopříkonové mikrokontroléry většinou neobsahují driver pro tuto sběrnici přímo v sobě, existují však ovladače sběrnice RS-485, jež jsou ovládány čtyřmi signály Driver data input, Drive enable, Receive data output a Receive enable. Dalším požadavkem na tento převodník jsou vhodné napěťové úrovně těchto čtyř signálů. Pro jednoduchost bloku Zprávy napájení by bylo vhodné, aby ovladač sběrnice využíval stejné napájecí napětí jako modul TR-54D, tedy 3,3 V (od 3 po 3,4 V). Těmto požadavkům odpovídá obvod SN65HVD78D společnost Texas Instruments.

Obvod SN65HVD78D potřebuje napájecí napětí v rozmezí od 3 V do 3,6 V. Na sběrnici RS-485 je schopen tolerovat klidové napětí od -7 do 12 V (absolutní limit je dokonce -13 až 16,5 V). Rychlost přenosu sběrnice může být až 50 megabit za sekundu (FINET obvykle používá rychlost 19200 bitů za sekundu). Ve chvílích kdy nepřijímá ani nevysílá je jeho spotřeba menší než 2  $\mu$ A. Pro bezpečné fungování bylo zvoleno využití typického zapojení s využitím bezpečnostních prvků proti vysokoenergetickým přenosům, výsledné schéma je vyobrazeno na Obr. 19. [11]



**Obr. 19: Schéma zapojení fyzického ovladače RS485 s ochranami**

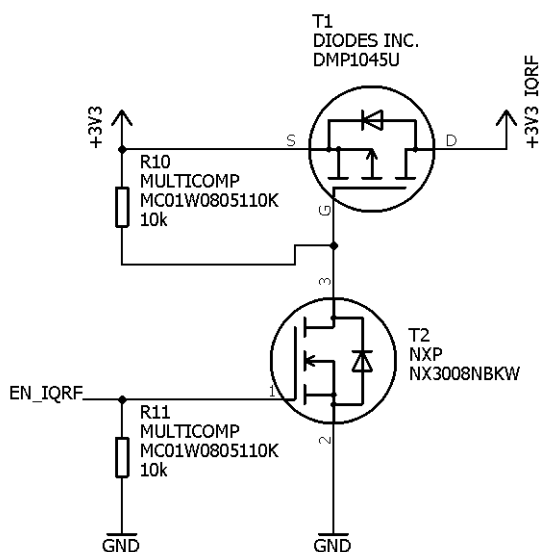
Pro komunikaci pomocí IQRF byl zvolen již dříve zmíněný modul TR-54D. Je to již déle používaný modul, tedy riziko nalezení nějakého nedostatku bez již nalezeného řešení je velice malá. Dále pro tento modul hovořila jeho dobrá dostupnost. S tímto modulem je možné komunikovat pomocí několika sběrnic, jako je SPI, UART nebo I<sup>2</sup>C. Tento konkrétní modul potřebuje pro správnou komunikaci ještě připojit anténu, proto je do schématu zapojení zakomponován konektor, který bude na desce plošného spoje. Byly k němu připojeny také dvě LED diody pro signalizaci stavu při ladění programu. Pro komunikaci s modulem TR-54D byla zvolena sběrnice SPI. Celkové zapojení modulu TR-54D se nachází a obrázku Obr. 20.



**Obr. 20: Schéma zapojení IQRF modulu a k němu připojených signalizačních diod**



Neboť bude brána FINET/IQRF v roli koordinátora připojena ke stanici M4016 tak není vyžadováno, aby byla napájena okamžitě od chvíle, kdy bude zapnuto napájení brány. Je tedy vložena možnost zapnutí napájení modulu TR-54D až ve chvíli potřeby, viz Obr. 23.



**Obr. 23: Schéma zapojení spínání napájení IQRF modulu**

S tímto chybí už jen mikrokontrolér a regulátor napětí. K návrhu regulátoru napětí je třeba znát spotřebu všech ostatních prvků zapojení, nyní je tedy na řadě mikrokontrolér.

Na mikrokontrolér je požadavek nízké spotřeby a napájecího napětí 3,3 V. Dále je nutné zvládnutí jak komunikace s ovladačem sběrnice RS-485 tak komunikace s modulem TR-54D. Ve škole jsou dobré zkušenosti s mikrokontroléry společnosti NXP, jejich série mikrokontrolérů Kinetis L splňuje oba tyto požadavky. Pro cíle této práce není potřeba velké množství vstupů/výstupů na mikrokontroléru, bude tedy stačit i malý. Jeden z nejmenších mikrokontrolérů této řady KL0x. Paměť programu je však lepší větší než menší. Byl zvolen mikrokontrolér MKL03Z32VFK4. Má 24 pinů, vestavěné rozhraní pro sběrnice I<sup>2</sup>C, SPI a UART. [13]

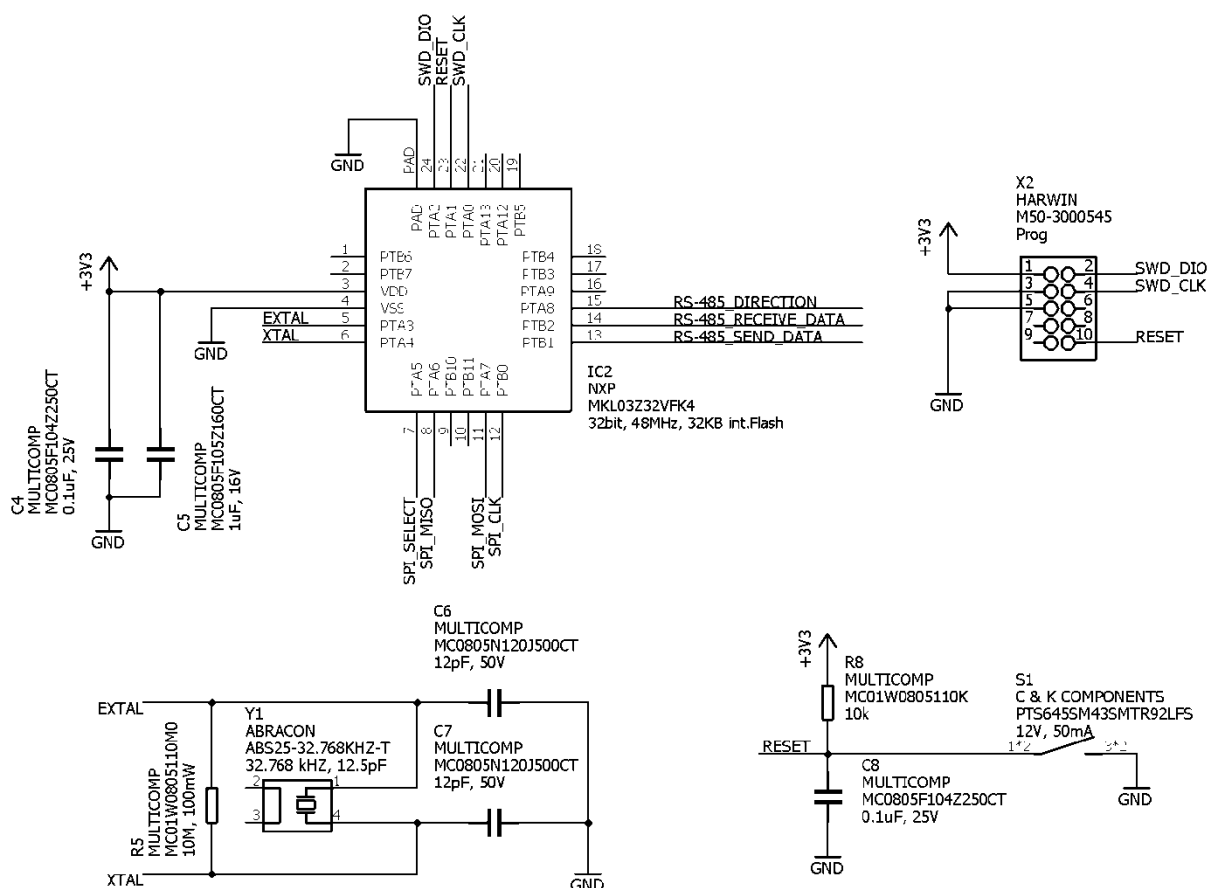
Pro komunikaci s ovladačem sběrnice RS-485 může být s úspěchem využito rozhraní pro sběrnici UART a jeden obecný výstup rozhodující o poslouchání nebo vysílání. Signál UART\_TX může být přiveden na piny mikrokontroléru 5, 13, 14 a 17, naopak UART\_RX na piny 6, 13, 14 a 18. Pro komunikaci s modulem TR-54D je zvolena sběrnice SPI, její rozhraní využívá čtyř pinů: MISO (piny 8, 10 a 11), MOSI (piny 11 a 15), SCK (piny 12 a 16) a SS (piny 7 a 9). [13]

Pro správnou funkci mikrokontroléru je potřeba také krystalový oscilátor, jež se připojuje mezi piny Extal0 a Xtal0 (piny 5 a 6), napájecí napětí, jež se připojuje na piny 3 (+3,3V) a 4 (GND). Nesmí být zapomenuto ani na programovací rozhraní využívající signály RESET (pin 23), SWD\_DIO (pin 24) a SWD\_CLK (pin 22). Pro jednoduchost tištěného spoje je vhodné rozmístit každou komunikační sběrnici na jednu stranu mikrokontroléru (mikrokontrolér se nachází v 24 pinovém QFN pouzdru). [13]

**Tab. 4: Přehled použitých signálů a jejich piny [13]**

Název signálu	Čísla použitelných pinů pro daný signál			
+3,3V	3	-	-	-
GND	4	-	-	-
Extal0	5	-	-	-
Xtal0	6	-	-	-
RESET	23	-	-	-
SWD_CLK	22	-	-	-
SWD_DIO	24	-	-	-
MISO	8	10	11	-
MOSI	11	15	-	-
SCK	12	16	-	-
SS	7	9	-	-
UART_TX	5	13	14	17
UART_RX	6	13	14	18
Obecný výstup	Jakýkoliv ještě volný pin			

Pro signály bez možnosti jiné volby byly použité dostupné piny. Aby byly piny u signálů s možností volby pokud možno u sebe po skupinkách byly zvoleny tyto piny: MISO pin 8, MOSI pin 11, SCK pin 12, SS pin 7, UART\_TX pin 13, UART\_RX pin 14 a obecný výstup pin 15. Na signál RESET bylo navíc připojeno tlačítko pro resetování mikrokontroléru a programovací piny byly přivedeny na 10pinový konektor. Toto všechno je zachyceno na schématu Obr. 24.



**Obr. 24: Schéma zapojení mikrokontroléru, který celý most ovládá**

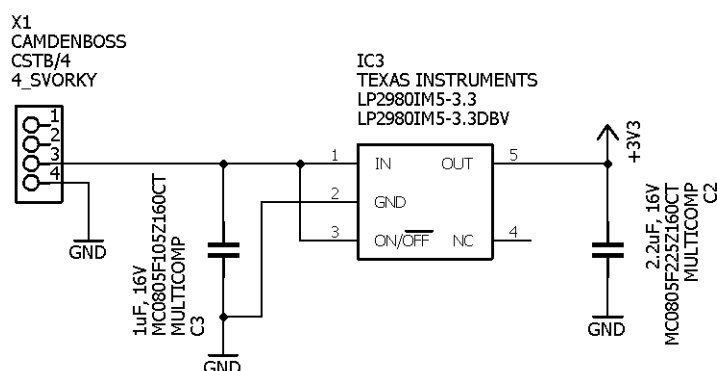
Nakonec je třeba spočítat potřebný proud pro všechny zařízení a podle tohoto proudu zvolit vhodný regulátor napětí z napětí dodávaného stanicí M4016 na napětí potřebné pro logické obvody navrhovaného zařízení (v tomto případě 3,3 V). Součty všech odebíraných proudů se nachází v Tab. 5.

**Tab. 5: Odebíraný proud jednotlivých součástek**

Označení	Typové číslo / Popis	Vzoreček	Odebíraný proud [mA]
IC2	MKL03Z32VFK4	-	6,82
M1	TR-54D (Tx mode)	-	14~24
S1	Reset tlačítko	3,3 V/10 k $\Omega$ (R8)	0,33
S2	Bondovací tlačítko	3,3 V/22 k $\Omega$ + 3,3 V/10k $\Omega$ (R15, R14)	0,48
T2	Připínání napájení IQRF	3,3 V/10 k $\Omega$ (R10)	0,33
U1	SN65HVD78D	-	0,95
U2	SN74CBTLV3245APW	-	0,02
U3	SN74AHC1G00DCKR	-	0,01
Celková maximální spotřeba			32,94

Dle tohoto proudu a požadovaných napětí byl zvolen regulátor LP2980-N. Tento regulátor na vstupu přijme napětí od 2,1 do 16 V. Jeho maximální výstupní proud je 50 mA, což s rezervou pokryje předpokládanou spotřebu. Jeho výstupní napětí je 3,3 V  $\pm$ 5%. Dle doporučení v datasheetu tohoto

regulátoru byl na vstup připojen 1  $\mu\text{F}$  kondenzátor a na výstup kondenzátor o hodnotě 2,2  $\mu\text{F}$  jak je zobrazeno na Obr. 25.



**Obr. 25: Schéma zapojení regulátoru napětí**

Celkové schéma zapojení brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě je v Příloha 1.

Návrh desky tištěného spoje čerpal z doporučení datasheetů jednotlivých prvků. Deska musí odpovídat krabičce, do níž bude vložena. Rozměry a návrh desky plošného spoje jsou součástí Příloha 2.

#### **4.5 Deska plošných spojů pro bránu**

V průběhu oživování bylo zjištěno, že v původním návrhu chyběl připojit signál ENABLE\_IQRF k mikrokontroléru. Byl tedy k mikrokontroléru přidán dodatečně pomocí drátového spojení na pin 21 (PTA13). Při této úpravě bylo přidáno i propojení mikrokontroléru k s pinem WAKE/RB4 na IQRF modulu. Výsledná deska po umístění do krabičky je vyfocena na Obr. 26



**Obr. 26: Osazená a zapojená brána Varianta 1**

## 4.6 Návrh programu pro mikrokontrolér

Modul TR-54D bude fungovat jako koordinátor sítě, program pro něj byl vytvořen v rámci projektu [22] a pro tento projekt je významný jen způsob kterým komunikuje s okolím. Tento způsob byl popsán v kapitole 2.6 . Naproti tomu program pro mikrokontrolér je vytvořen v rámci této práce.

Program v mikrokontroléru musí být schopen přijímat zprávy, které mají tvar definovaný protokolem FINET a musí dokázat přijímat zprávy s daty od modulu IQRF. Z těchto požadavků vyplývá vývojový diagram na Obr. 27. U každého mikrokontroléru je nejprve nutné zajistit správné nastavení jeho periférií, teprve po něm je možné používat nastavené periferie k požadovanému účelu. Následně, jako první, potřebuji získat data (naměřené hodnoty) od modulu TR-54D. Ve chvíli kdy jsou data získána, dojde k převedení, aby je bylo možné předat připojenému FINET masteru. Až po tomto převedení je možné předat změřené hodnoty připojenému FINET masteru, za dodržení tvaru zpráv specifikovaných v [5] a [6].



**Obr. 27: První návrh celkové smyčky programu**

V tomto případě bude potřeba nastavit pro obsluhu sběrnice SPI bude použit pin 7 mikrokontroléru jako SS, pin 8 jako MISO, pin 11 jako MOSI a funkce CLK případně pinu 12. K zapínání napájení modulu TR-54D bude použito signálu z pinu 21. Pro vzbuzení tohoto modulu bude využito pinu 9, kterým by byly uzavřeny periferie využívané pro obsluhu TR-54D modulu. Obsluha fyzického ovladače sběrnice bude zajištěna periferií LPUART, která bude mít výstup na pinu 13 a vstup na pinu 14. Pro přepínání směru komunikace (příjem vysílání) bude použit pin 15. Nastavení funkcí jednotlivých pinů musí předcházet povolení hodinového signálu pro tyto piny, jinak nebude nastaveno vůbec nic.

Pro komunikaci s modulem TR-54D bude využito SPI masteru vytvořeného pro projekt [22]. Program pro tento projekt byl vytvořen pomocí vývojového systému Processor Expert, pro tento projekt bude použita kolekce driverů periférií Kinetis SDK. Obojí pracuje na podobném principu a jejich účelem je usnadnění vytváření nových programů pro mikrokontroléry. Každý má však své vlastní funkce a způsob nastavení, proto byly příkazy Processor Expertu, původního SPI masteru, nahrazeny ekvivalentními příkazy Kinetis SDK. Jinak zůstal beze změny.

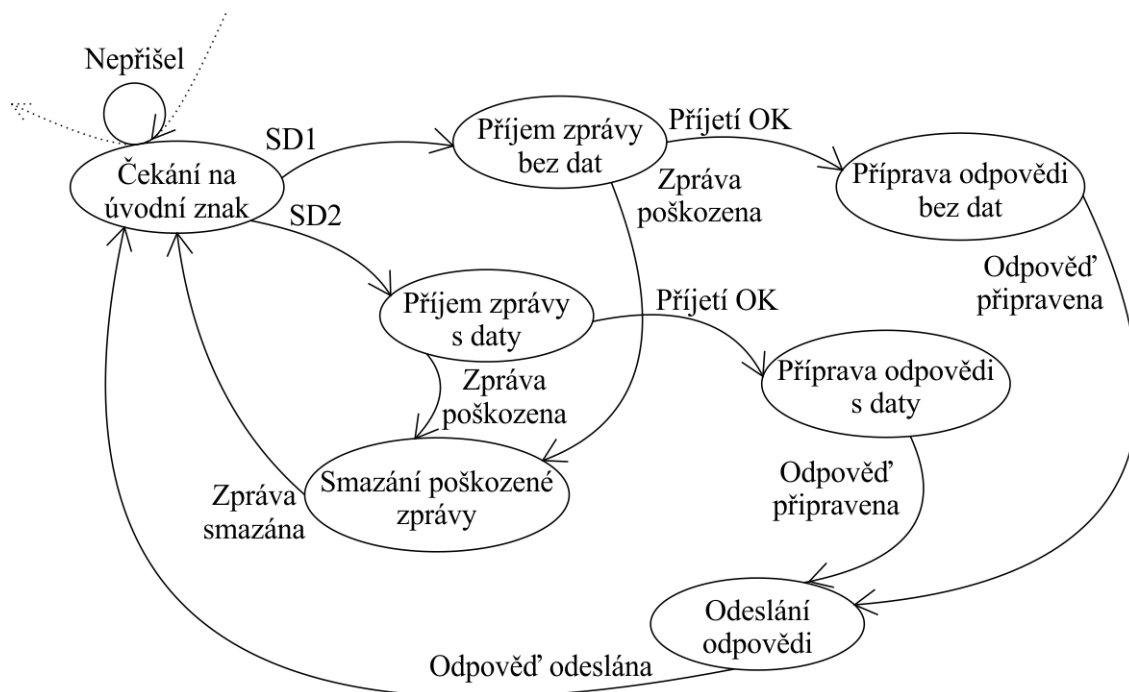
Při zapnutí modul TR-54D odešle enumerační paket, tento je nutné přečíst. Následně bude zapnuto pravidelné odečítání hodnot od uzlů (node). Po tomto už stačí jen jednou za čas zkontrolovat,



jestli přišel paket s novými daty. Z výpisu na Obr. 6 lze odečíst, že od modulu IQRF node s HWPID 0x0712 přichází hodnoty po 770 až 810 milisekundách, modulu s HWPID 0x0612 odpovídá rychleji během 250 až 260 milisekund. Pokus o vyčtení nových dat může být prováděn jednou za 100 ms bez nutnosti obávat se ztráty dat nebo toho že by dříve získaná data blokovala příchod dat nověji získaných.

Během překladu dojde k převedení změřených hodnot z dvou bajtových proměnných na desetinné číslo ve formátu odpovídajícímu standartu IEEE-754. Případné chybové hlášky budou také převedeny na hodnoty odpovídající ekvivalentním chybovým kódům z tabulky v příloze zdroje [6]. Převedené hodnoty budou uloženy ve strukturách odpovídajících odpovědím služby KS\_RDKAN popsané v kapitole 3.5.2 .

K fungování pak zbývá jen obsluha samotné sběrnice RS-485 s komunikačním protokolem FINET. Obsluha sběrnice RS-485 je základem. Fyzický ovladač sběrnice bude v tomto případě většinu doby nastaven na příjem a pomocí přerušení od čtení periferie LPUART se budou postupně načítat jednotlivé bajty. V případě, že bude třeba odeslat zprávu, přepne se ovladač sběrnice na vysílání a zpráva se odešle. Vyhodnocování jednotlivých příchozích zpráv je nejlépe popsatelné stavovým automatem. Tento je vyobrazen na Obr. 28. Nejprve se bude čekat na úvodní znak zprávy, FINET protokol používá jen dva takovéto znaky SD1 (0x10) a SD2 (0x68). Zprávy zahájené znakem SD1 mají pevnou délku šesti bajtů a stačí tak po přečtení úvodního znaku načíst zbývajících pět bajtů. Zpráva započatá znakem SD2 mají proměnlivou délku. Druhý a třetí bajt uvádějí délku datového pole této zprávy, čtvrtý bajt je opakováním počátečního znaku SD2. Po jejich načtení je již jisté, že se jedná o začátek zprávy a může být načten počet bajtů uvedený v druhém přijatém bajtu a ještě dva pro kontrolní součet FCS a ukončovací znak ED. Je-li zpráva korektně přijata a má všechny náležitosti, je možné přikročit k sestavení odpovědi. Není-li zpráva korektně přijata, pak bude smazána a bude se čekat na další zprávu. V případech kdy bude připravena odpověď, bude přikročeno k jejímu odeslání. Odpověď bude sestavena do pole bajtů pro snadné odeslání. Počká se stanovenou dobu klidu na lince a následně se odpověď odešle. Po odeslání odpovědi se program vrátí na začátek stavového automatu, čekání na úvodní znak.

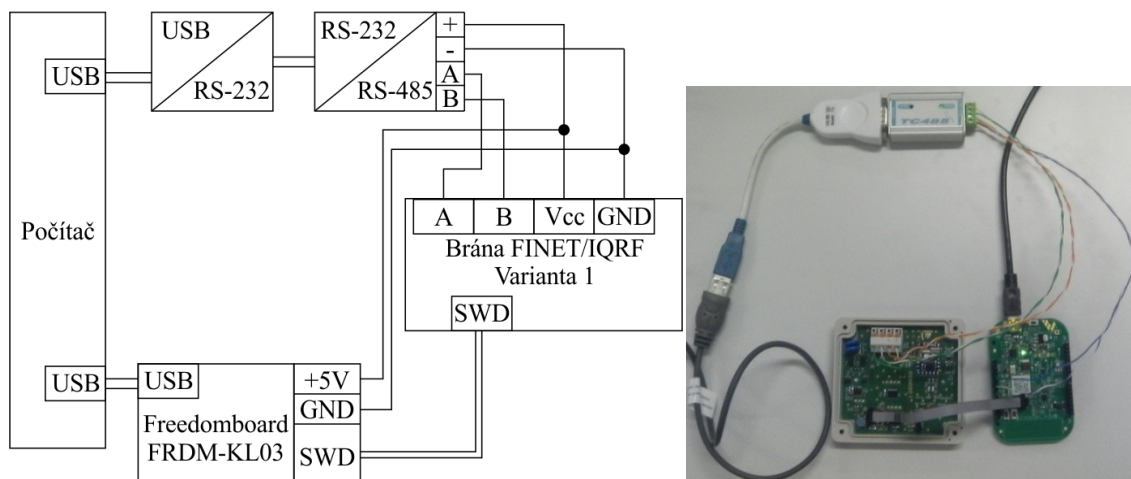


**Obr. 28: Stavový automat pro obsluhu protokolu FINET**

#### **4.7 Ladění programu pro mikrokontrolér**

Program bude rozdělen do tří knihoven. První knihovna s SPI masterem je již vytvořená, druhá knihovna bude zajišťovat obsluhu sběrnice RS-485 a protokolu FINET. Třetí knihovna bude tyto dvě knihovny používat k zajištění komunikace v obou směrech a navíc zajistí převod dat do nutného formátu.

Poměrně nejsložitější bude vytvoření knihovny se stavovým automatem pro obsluhu protokolu FINET. Proto jím byla tvorba programu započata. Pro prvotní testování funkčnosti této knihovny bylo použito zapojení na Obr. 29. K zavádění jednotlivých verzí programu bylo využito možnosti programování pomocí Freedomboardu. K testování komunikace bylo využito převodníku TC485 od společnosti Papouch s.r.o. Tento převodník slouží jako překladatel logických úrovní mezi sběrnicemi RS-485 a RS-422. Pro připojení k počítači je využito ještě převodníku UC232R od společnosti Future Technology Devices International Limited jež převádí mezi RS-485 a USB. Pro oba převodníky je nutné nainstalovat v počítači jejich ovladače. Po nainstalování ovladačů bude k dispozici při připojení převodníků USB Seriál Port (COMx), kde x bude číslo přiřazené operačním systémem. V případě počítače, který byl pro testování používán, se jednalo o port COM8.



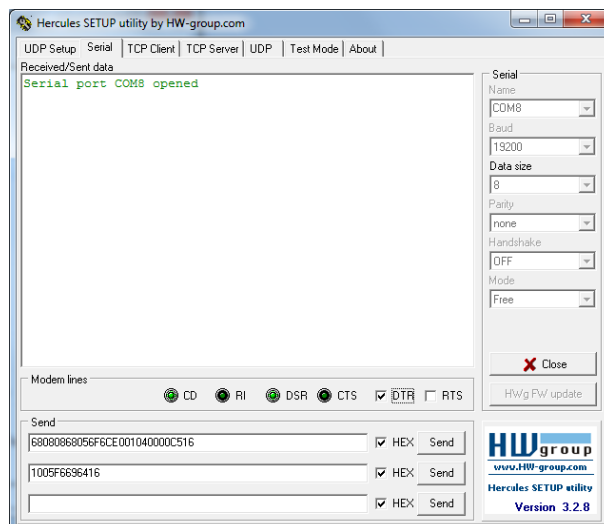
**Obr. 29: Zapojení pro prvotní zkoušení FINET slave (vlevo schéma, vpravo fotka)**

V počítači bylo k odesílání a příjmu zpráv použit program Hercules SETUP vytvořený společností HW group s.r.o. V záložce Serial tohoto programu je možné se připojit ke COM portům, jež operační systém počítače vidí. V části Serial byla nastavena položka „Name“ na COM8, ostatní položky byly nastaveny dle FINET informací z dokumentu [5]. V části Modem lines je bezpodmínečně nutné zaškrtnout položku DTR, není-li tak učiněno, převodník TC485 nebude převádět. Druhou podmínkou je připojení napájení sběrnice na svorky označené plusem a mínusem. Indikace, chodu převodníku je pomocí dvou LED diod. Obě diody musí svítit, aby byl převodník v provozu, pohled na svítící diody použitého převodníku se nachází na Obr. 30. Jak je na obrázku vidět převodník použitý při testování měl ledku pro signalizaci DTR zapadlou uvnitř a nebylo tedy snadno identifikovatelné, zda svítí nebo ne.



**Obr. 30: Převodník TC485 – detail LED diod**

Pro testování byly používány dotazy dvou služeb, jejichž zprávy byly připraveny v části Send. Na prvním řádku je připravený dotaz služby KS\_RDKAN, na řádku druhém zase dotaz služby CONNECT. Okno aplikace Hercules SETUP, připravené pro testování naleznete na Obr. 31.



**Obr. 31: Aplikace Hercules SETUP použitý pro komunikaci s COM portem**

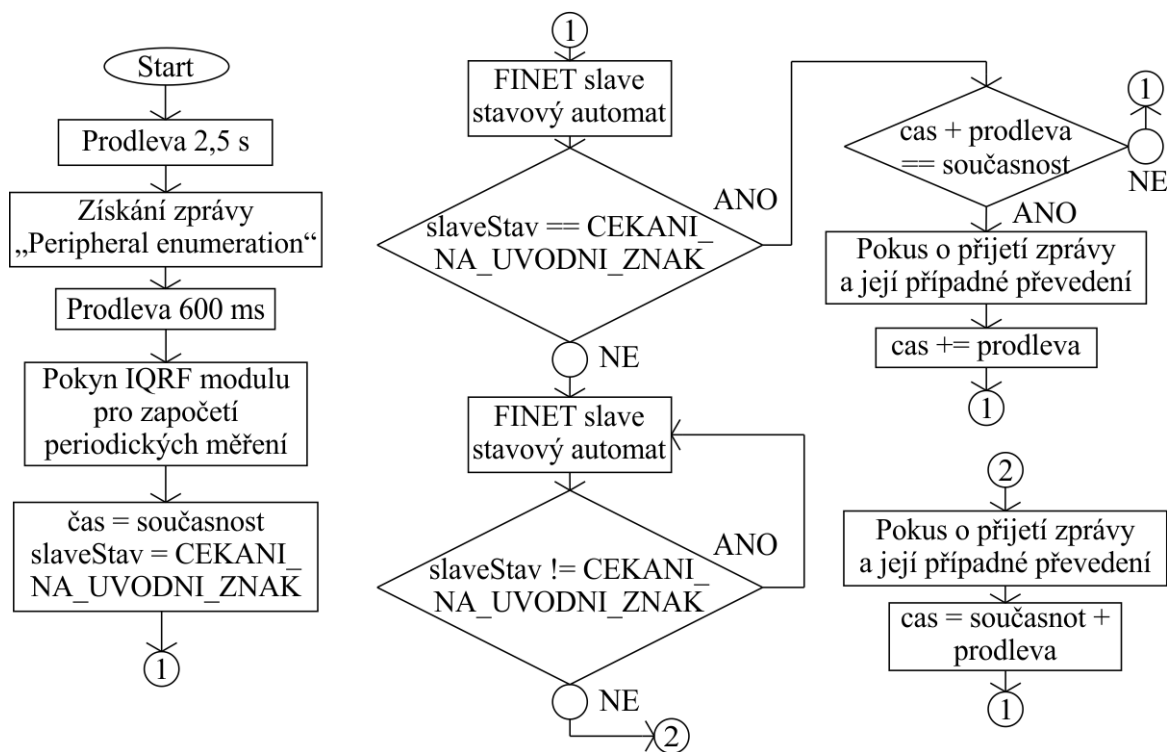
Finální verze této knihovny v sobě zahrnuje funkci pro inicializaci komponent `rs485_init`, obsluhu přerušování od periférie `LPUART0` a časovače `LPTMR0`, pomocné funkce pro odesílání a přijímání bajtů, stavovým automatem pomocí sběrnice RS-485 a funkce zajišťující ověření kontrolního součtu přijatých zpráv, jeho spočítání pro odesílané zprávy a funkci pro přípravu datového pole pro zprávy toto pole obsahující. Knihovna obsahuje také vlastní stavový automat protokol `finet_slave_odpoved`.

Po úspěšném odladění této knihovny, kdy přípravek odpovídá na dotazy obou služeb korektně bylo přikročeno k úpravám SPI masteru, jež se nalézá v knihovně `iqrf_comm`. Příkazy `Processor Expertu` byly použity pro inicializaci periférie, příjem a vysílání jednotlivých bajtů. Inicializace, jež původně využívala jedné funkce `Processor Expertu`, nyní obsahuje vícero funkcí. Tyto postupně nastaví jednotlivé piny a následně inicializují i periférii SPI mastera. Funkce pro vysílání a příjem jednotlivých bajtů byly nahrazeny proměnnou typu `spi_transfer_t` a funkce `SPI_MasterTransferBlocking`. Tato funkce neumí však vytvářet prodlevy mezi odesíláním jednotlivých bajtů, proto byla tato funkce uzavřena do funkce `iqrf_transfer`, toto zajišťuje odesílání jednotlivých bajtů s prodlevou stanovenou v [23] (minimálně 700μs pokud modul právě vykonává bezdrátovou komunikaci). Tímto byly úpravy v knihovně `iqrf_comm` hotovy.

Nakonec je vytvořena knihovna `BranFinetIqrf` jejímž účelem je řídit všechna data, jež do brány přicházejí a správným způsobem na ně reagovat. Tato knihovna v sobě nese funkci `branaInicializace`, která volá inicializační funkce obou předchozích knihoven, navíc inicializuje piny pro řízení napájení modulu TR-54D a pro probouzení IQRF modulu ze stavu spánku.

Hlavní smyčka programu je umístěna ve funkci `FinetSlaveIqrfCoordinátor`. Vzhledem k způsobu fungování FINET protokolu je nutné nejprve zapnout koordinátor s cílem co nejdříve přechíst hodnoty z přibondovaných uzlů (node) a při tom očekávat počátek čtení dat z připojeného zařízení vykonávajícího roli FINET mastera. Po zapnutí koordinátoru je nutné asi 2500 ms počkat, aby koordinátor provedl svou inicializaci, po tomto čase vyšle zprávu v IQRF IDE označenou jako `Peripheralenumeration`. Jedná se o zprávu obsahující základní informace o koordinátoru. Následně opět proběhne menší prodleva a je odeslán pokyn k nastartování dotazování uzlů (node).

Nyní je možné vstoupit do nekonečné smyčky, v této je pravidelně (co 100 ms) dotazován koordinátor, zda dostal nové hodnoty. V době mezi těmito dotazy je kontrolováno, zda začala přicházet zpráva od FINET mastera. Těto vlastnosti je docíleno úpravou stavového automatu z OBR30 tím, že smyčka „Nepřišel“ u stavu „Čekání na úvodní znak“ se otevře a stane se vstupem do stavového automatu a také výstupem z něj. Když dojde k přijetí FINET dotazu, tak je zpracován a odeslána odpověď. Po tomto je zkontrolován koordinátor, zda nedostal nová data. Následující moment se stává počátkem pro pravidelné dotazování (s periodou 100 ms). V této chvíli se přechází na začátek smyčky. Kompletní vývojový diagram této funkce se nachází na Obr. 32: Vývojový diagram funkce FinetSlaveIqrfCoordinator.



**Obr. 32: Vývojový diagram funkce FinetSlaveIqrfCoordinator**

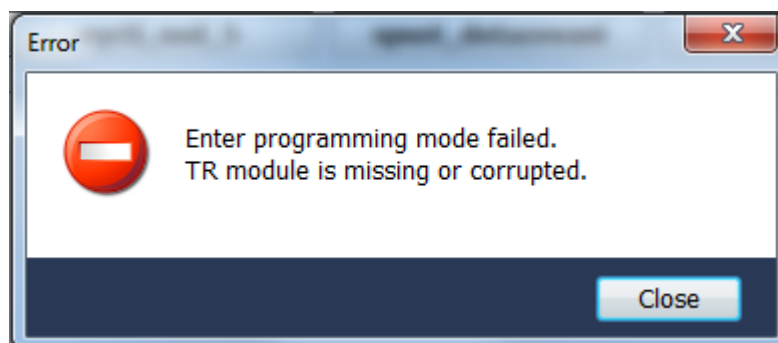
S dokončením této funkce je brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě neboli brána varianta 1 dokončená a je možné přejít k jejímu testování. Jež bude popsáno v kapitole 6 .

#### 4.8 Poškození z důvodů neopatrné manipulace

Před proběhnutím testování v kapitole 6, při zapojování elektrických zapojení je nutné dodržovat jistá pravidla. Z důvodu neopatrnosti byla brána připojována ke stanici za chodu stanice a tím byly připojované vodiče pod napětím. Došlo ke chvilkovému doteku napájecí žily hnědé barvy ze stanice (bylo na ní napětí přibližně 13,5V), někde v oblasti od integrovaného obvodu U2 směrem ke svorkovnici X1. Ve chvíli tohoto dotyku byla tato oblast zakryta rukou zapojující osoby a není tak možné určit přesný bod styku. Ve chvíli dotyku bylo zaslechnuto zajiskření, ale nebylo nic vidět. Po celkovém zapojení napájecích vodičů do svorkovnice X1 se začal přehřívat regulátor napětí IC3. Napětí za regulátorem bylo změřeno jen 1,1 V, namísto očekávaných 3,3 V. Při následném vypnutí a propískání spojů byla zjištěna jediná nesprávná okolnost. Jednalo se o spojení mezi testovacími body

před a za oddělovačem sběrnice U2. Po jeho výměně a novém připojení (tentokrát za dodržení předtím nedodržného pravidla) se napětí za regulátorem vrátilo do očekávané hodnoty.

Při následném testování bylo zjištěno, že brána nekomunikuje. Při přejití do ladícího režimu pomocí Freedomboardu a prostředí Ozon bylo zjištěno: program mikrokontroléru se zacyklil v části, očekávání zprávy „Enumerace“ od modulu TR-54D. Toto zaseknutí bylo neočekávané, neboť zelená signalizační LED D2 signalizovala stejně jako obvykle. Byl tedy odpojen Freedomboard a byl připojen jumper JP2 pro oddělení sběrnice a pomocí CK-USB-04A a prostředí IQRF IDE byl kontrolován modul TR-54D. Uvnitř tohoto prostředí ovšem modul hlásil „SPI not active“ což znamená, že SPI komunikace není od modulu povolena. Při pokusu o přeprogramování byla získána chybová hláška „Enter programming mode failed“, viz Obr. 33.



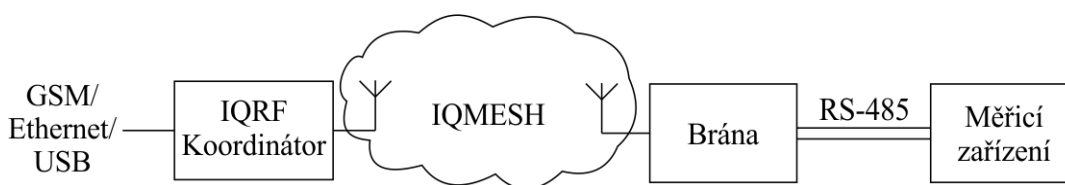
**Obr. 33: Chybová hláška prostředí IQRF IDE – TR module is missing or corrupted**

Toto je způsobeno buď tím že je TR modul nepřipojen, připojen však rozhodně byl. Nebo je modul poškozený.

Nezbylo tedy než modul TR-54D odpájet a nahradit jej jiným. Po naprogramování nového modulu a znovuvytvoření sítě bylo znovu zapojeno testovací zapojení a vše se již chovalo dle předpokládání, viz kapitola 6 .

## 5 Návrh a realizace brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení

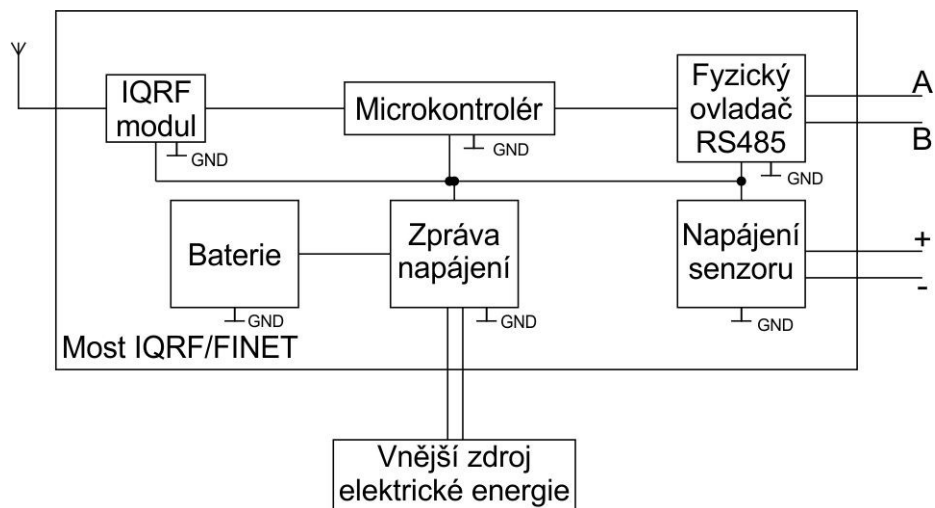
Brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení (neboli varianta 2) bude připojena k čidlu čtyřmi vodiči (dva jsou pro napájení čidla a dva pro sběrnici RS-485). K čidlu bude brána přistupovat jako telemetrická stanice, z hlediska protokolu FINET se bude chovat jako master. Na straně komunikace prostřednictvím technologie IQRF se bude chovat jako uzel (node). Její funkce tedy bude obrácená oproti bráně FINET/IQRF v roli koordinátora sítě. Při dotazu koordinátora získá naměřené hodnoty od měřicího zařízení pomocí sběrnice RS-485 s komunikačním protokolem FINET a tyto hodnoty následně předá, pomocí technologie IQRF, koordinátoru sítě.



**Obr. 34: Pohled na síť s navrhovanou bránou IQRF/FINET v roli koncového zařízení**

Brána nebude mít k dispozici zdroj elektrické energie ze stanice M4016, jak tomu bylo u varianty 1. Bude tedy muset obsahovat vlastní zdroj elektrické energie, pomocí připojeného vnějšího zdroje (například solárního panelu) a baterie.

Tato brána bude po hardwarové stránce velice podobná bráně IQRF/FINET v roli koordinátora sítě. Obrovský rozdíl však bude v řešení napájení samotné brány, což je vidět při porovnání blokových schémat Obr. 18 a Obr. 35.



**Obr. 35: Funkční návrh brány FINET/IQRF v roli koncového zařízení**

V přístupu napájení jednotlivých komponent je rozdíl v tom, že musí být trvale zajištěno napájení IQRF modulu. Ostatní komponenty mohou být vypnuty, za účelem snížení spotřeby. Až na napájení bude zapojení velice podobné jako u varianty 1.

## 5.1 Návrh schématu zapojení

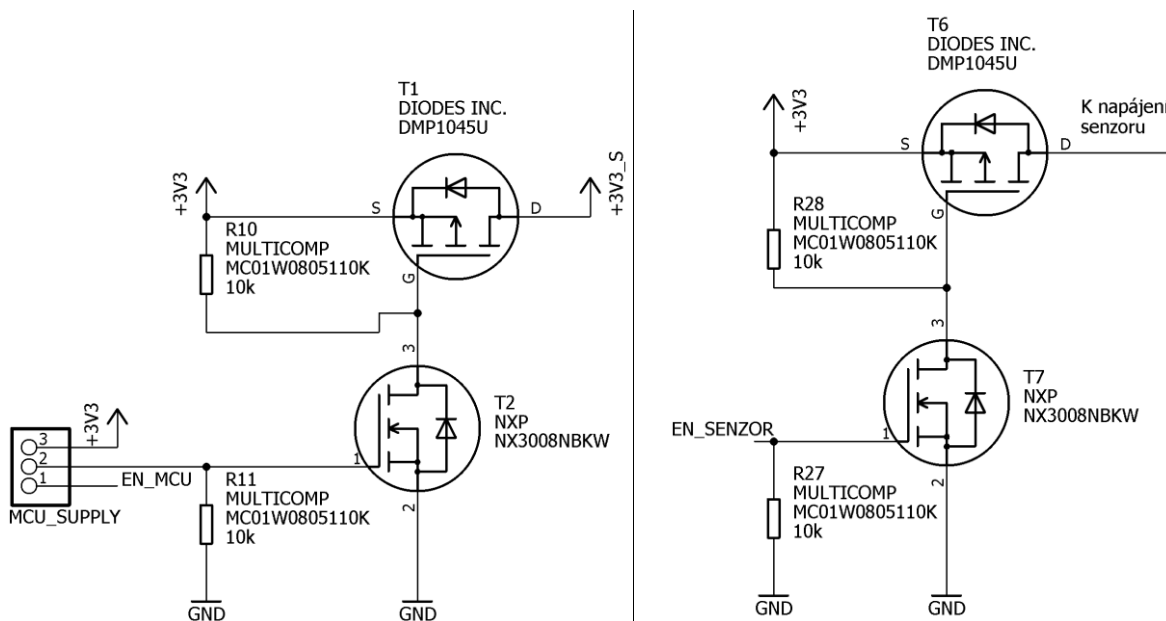
Návrh schématu zapojení brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení (varianta 2) do značné míry vychází z předchozího návrhu brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě (varianta 1). Největším rozdílem mezi oběma návrhy je způsob přístupu k napájecímu napětí. U varianty 1 bylo napájecí napětí dodáno z telemetrické stanice M4016 a bylo třeba jej snížit na požadovanou hodnotu. V tomto případě není k dispozici vnější stanice, naopak brána samotná se bude, na straně sběrnice RS-485, chovat jako telemetrická stanice. Brána musí také zajistit klidové hladiny napětí na sběrnici RS-485.

Pro vlastní napájení bude navrženo vhodný zdroj v následující podkapitole. Tento zdroj bude zajišťovat napájení 3,3 V pro IQRF modul. Pro napájení senzoru bude navržen zvyšující měnič, který zvýší napětí z 3,3 V na napětí vhodné pro měřicí převodník TEP06. Pro snížení spotřeby, mimo dobu získávání hodnot z převodníku, byly implementovány do rozvodu napájecího napětí dva vypínače (realizované zapojením tranzistorů).

První vypínač (zapojení viz Obr. 36 vlevo) slouží k zapínání mikrokontroléru, zajišťujícího fungování brány. Tento vypínač může být zapnut buď pomocí modulu IQRF nebo je sepnut vždy. Volba se provádí vložením zkratovací propojky (jumper) mezi odpovídajícího piny pinové lišty MCU\_SUPPLY. V případě spínání signálem z IQRF modulu, je použit signál EN\_MCU.

Druhý vypínač je ovládán pomocí mikrokontroléru (signálem označeným EN\_SENZOR). Zapojení vypínače se nachází na Obr. 36 vpravo. Druhým vypínačem se zapíná napájení připojeného měřicího převodníku. Přesněji, přivádí napájecí napětí na vstup zvyšujícího měniče, z jehož výstupu je převodník napájen.

Na Obr. 36 se nachází napěťové větve +3V3, která je výstupem zdroje brány a napájí i IQRF modul. Další větví je +3V3\_S, tato napájí mikrokontrolér.



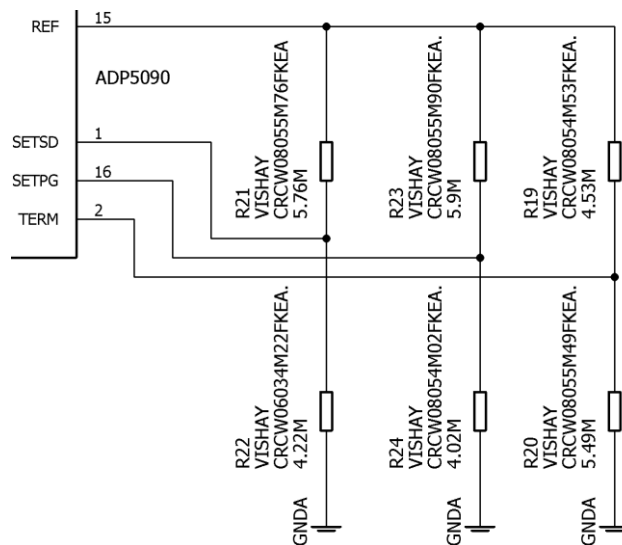
Obr. 36: Spínání napájení pro části brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení, vlevo spínač pro napájení mikrokontroléru, vpravo spínač pro napájení senzoru



### 5.1.1 Zdroj napájecího napětí

Způsoby generování elektrické energie s okolí přímo v umístění zařízení se označují jako energy harvesting. Tyto způsoby umožňují vytvářet elektrickou energii z různých druhů jiné energie, jako je solární záření, tepelné záření, vibrace, rázy a další. [25]

Pro zajištění napájení brány byl zvolen čip ADP5090 od společnosti Analog Devices, Inc. Čip ADP5090 využívá solárního článku nebo termoelektrického článku jako zdroje elektrického napětí (potřebuje vstupní napětí od 80 mV do 3,3 V). Energií z těchto zdrojů je nabíjen kondenzátor nebo dobíjecí baterie na požadovanou hodnotu. Tento čip umožňuje připojení i záložní baterie, pro případy kdy napětí na kondenzátoru klesne pod dovolenou mez. Nastavení těchto hranic napětí je prováděno třemi napěťovými děliči. Děliče jsou napájeny z pinu 15 označeného REF (zdroj referenčního napětí, velikost napětí je typicky 1,21 V). Zapojení děličů je na Obr. 37. [24]



**Obr. 37: Zapojení tří děličů pro nastavení chování čipu ADP5090**

Během vybíjení kondenzátoru je prvním děličem určeno napětí, při němž je kondenzátor odpojen od výstupu. Toto má smysl hlavně v případech, kdy je místo kondenzátoru použita dobíjecí baterie. U dobíjecích baterií totiž hrozí riziko, trvalého poškození při vybití pod určité napětí. Tento dělič má výstup připojen na pin 1 (SETSD). [24]

$$V_{BAT\_SD} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_{21}}{R_{22}} \right)$$

Druhý dělič nastavuje napětí, při němž se kondenzátoru přestane nabíjet. Tento dělič je připojen na pin 2 (TERM). [24]

$$V_{BAT\_TERM} = \frac{3}{2} V_{REF} \left( 1 + \frac{R_{19}}{R_{20}} \right)$$

Třetí dělič má výstup připojený k pinu 16 (SETPG) nastavuje napětí, při němž sepne výstupní pin 13 (PGOOD). Tento pin slouží k signalizaci výstupnímu signálu, že je nabití kondenzátoru

dostatečné. Tento pin může být použit i k ovládání spínače, jež připojuje zátěž k výstupnímu napětí čipu ADP5090. [24]

$$V_{SYS\_PGOOD} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_{23}}{R_{24}} \right)$$

Hladiny těchto tří napětí byly zvoleny:  $V_{BAT\_SD} = 2,9 \text{ V}$ ,  $V_{BAT\_TERM} = 3,3 \text{ V}$  a  $V_{SYS\_PGOOD} = 3 \text{ V}$ . V dokumentu [24] je tabulka „Table 5“. Tato tabulka je určena pro zjednodušení návrhu zapojení a podle zvolených napěťových hladin jsou v ní uvedeny doporučené hodnoty odporů. Pro kontrolu byly hodnoty napětí přepočteny pomocí předchozích rovnic:

$$V_{BAT\_SD} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_{21}}{R_{22}} \right) = 1,21 \left( 1 + \frac{5,76 \cdot 10^6}{4,22 \cdot 10^6} \right) = 2,86 \text{ V}$$

$$V_{BAT\_TERM} = \frac{3}{2} V_{REF} \left( 1 + \frac{R_{19}}{R_{20}} \right) = \frac{3}{2} 1,21 \left( 1 + \frac{4,53 \cdot 10^6}{5,49 \cdot 10^6} \right) = 3,31 \text{ V}$$

$$V_{SYS\_PGOOD} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_{23}}{R_{24}} \right) = 1,21 \left( 1 + \frac{5,9 \cdot 10^6}{4,02 \cdot 10^6} \right) = 2,99 \text{ V}$$

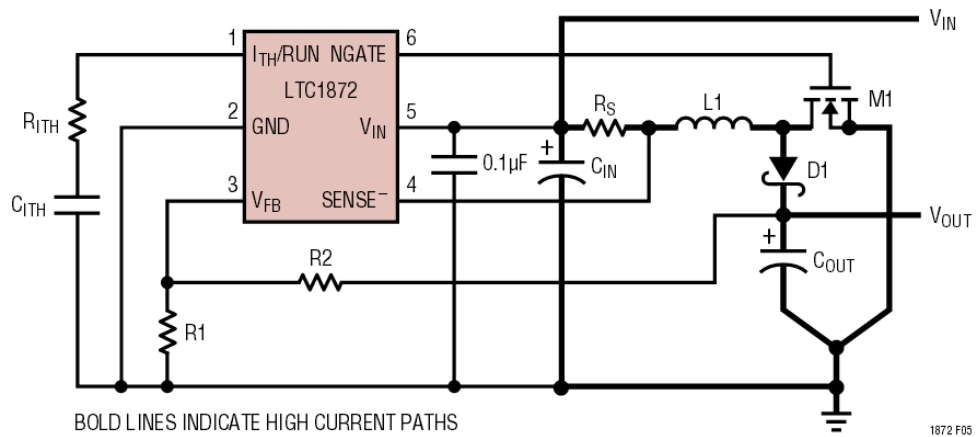
Spočtené hodnoty jednotlivých napětí odpovídají tabulce a byly tedy použity rezistory daných hodnot odporů. Dále bylo potřeba zvolit kondenzátor pro svoji značnou kapacitu a dostatečné maximální napětí byl zvolen super kondenzátor od společnosti Panasonic Electronic components EECSE0H224N. Tento kondenzátor má jmenovité napětí 5,5 V a kapacitu 0,22 F.

Pro případ, kdy by se čip ADP5090 ukázal jako ne zcela vhodný a jeho případné nahrazení vhodnějším zapojením. I pro zjednodušení návrhu desky plošných spojů pro bránu IQR/Finet v roli koncového zařízení (varianta 2), byl čip ADP5090 i s nutnými okolními obvody umístěn na samostatnou desku plošných spojů. Kompletní schéma zapojení je umístěno do Příloha 3 a pohled na desku do Příloha 4.

### 5.1.2 Zdroj pro napájení připojeného měřicího zařízení

Brána IQR/Finet v roli koncového zařízení (varianta 2) se bude pro připojené měřicí zařízení chovat jako telemetrická stanice. Musí pro něj tedy zajistit napájecí napětí. Z Obr. 16, kromě prodlevy od zapnutí napájecího napětí po počátek komunikace, je možné vyčíst, že napájecí napětí převodníku je mezi 12 V a 13 V. Napájecí napětí brány je jen okolo 3 V. Je tedy potřeba zapojení, které zajistí zvýšení napětí z 3 V na 12 V.

Společnost Linear technology vyrábí čipy LTC1872. Tento čip slouží jako řídicí jednotky pro DC/DC zvyšující měnič. K vytvoření zvyšujícího měniče je potřeba vytvořit zapojení obdobné tomu na Obr. 38. [26]



**Obr. 38: Schéma zapojení čipu LTC1872 [26]**

Postup návržení jednotlivých součástí je popsán v dokumentaci k čipu [26]. Jako první je nutné ujasnit si tři parametry navrhovaného měniče: výstupní proud  $I_{OUT} = 10 \text{ mA}$ , výstupní napětí  $U_{OUT} = 12 \text{ V}$  a nakonec vstupní napětí  $U_{IN} = 3 \text{ V}$ . Výstupní napětí, aby zajistilo chod převodníku TEP06, musí být v rozmezí 6 V až 16 V.

Nejprve se volí dioda  $D_1$ . Byla tedy zvolena dioda STPS0520Z. Pro následující výpočty je potřeba hodnota  $V_D$ , což je úbytek napětí na diodě v propustném směru. U diod se obvykle značí  $V_F$ . Tato dioda má při průchozím proudu  $I_F = 0,5 \text{ A}$  stanoveno  $V_F = 0,385 \text{ V}$ , pro výpočty tuto hodnotu zaokrouhlím nahoru a budu používat  $V_D = 0,4 \text{ V}$ .

Následně se volí rezistor  $R_S$ , tento je však ve zbytku dokumentace označován jako  $R_{SENSE}$ .

$$R_{SENSE} = \frac{1}{10 \cdot I_{OUT}} \left( \frac{V_{IN}}{V_{OUT} + V_D} \right) = \frac{1}{10 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} \frac{3}{12 + 0,4} = 2,419 \Omega$$

Po rezistoru  $R_{SENSE}$  je spočten proud tekoucí cívkou  $I_{RIPPLE}$ .

$$I_{RIPPLE} = 0,4 \left( \frac{V_{IN}}{V_{OUT} + V_D} \right) = 0,4 \frac{3}{12 + 0,4} = 16,5 \text{ mA}$$

Nyní je podle této nerovnice zkontrolován dřívější návrh  $R_{SENSE}$ .

$$I_{RIPPLE} \leq \frac{0,03}{R_{SENSE}} \rightarrow 16,5 \cdot 10^{-3} \leq \frac{0,03}{2,419} \rightarrow 16,5 \cdot 10^{-3} \leq 12,4 \cdot 10^{-3}$$

Což neplatí. Aby tato nerovnice platila, byla snížena hodnota  $R_{SENSE} = 1,8 \Omega$ . Následně se počítá nutná indukčnost cívky  $L_1$ .

$$L_{MIN} \frac{V_{IN}}{f \cdot \frac{0,03}{R_{SENSE}}} \frac{V_{OUT} + V_D - V_{IN}}{V_{OUT} + V_D} = \frac{3}{50 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,03}{1,8}} \frac{12 + 0,4 - 3}{12 + 0,4} = 248,09 \cdot 10^{-6}$$

Dle  $I_{\text{RIPPLE}}$  a  $L_{\text{MIN}}$  volím cívku  $L_1$ . Zvolena byla cívka SDR0403-331KL. Její indukčnost  $L = 330\mu\text{H}$  a proud  $I_{\text{RMS}} = 170\text{ mA}$ . Po zvolení cívky se volí tranzistor  $M_1$ . Dle popisu bude vyhovovat již dříve použitý tranzistor NX3008NBKW. Zkontroluje se, zda vyhovuje na začátku zvolená dioda. V tomto případě vyhovuje. Následně je zvoleno  $C_{\text{OUT}}$  jako paralelní kombinace dvou kondenzátorů  $10\mu\text{F}$  a  $0,1\mu\text{F}$ . Zbývá navrhnout odporový dělič  $R_1$ ,  $R_2$  pro nastavení výstupního napětí, dle rovnice:

$$V_{\text{OUT}} = 0,8 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right).$$

Je doporučeno volit rezistor  $R_1 = 80\text{ k}\Omega$ , pro tuto aplikaci bylo zvoleno  $R_1 = 82\text{ k}\Omega$ . Po úpravě předchozí rovnice je získána rovnice pro dopočítání rezistoru  $R_2$ .

$$R_2 = \left( \frac{V_{\text{OUT}}}{0,8} - 1 \right) R_1 = \left( \frac{12}{0,8} - 1 \right) 82 \cdot 10^3 = 1148 \cdot 10^3 \Omega$$

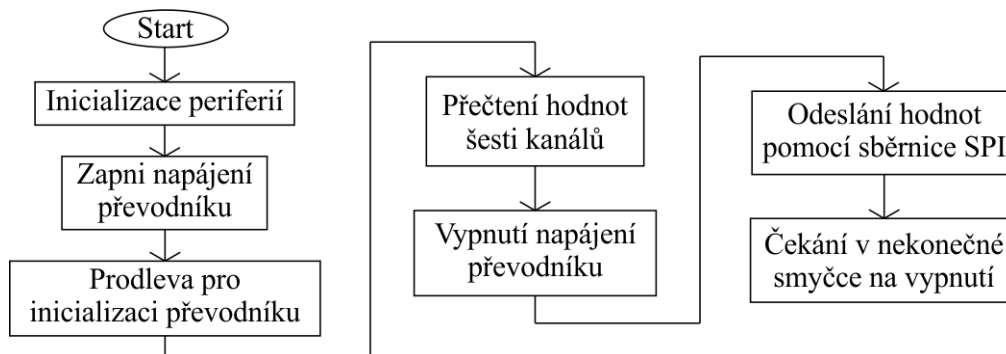
Rezistor  $R_2$  je podle této hodnoty zvolen na  $1,1\text{ M}\Omega$ . Nakonec se ověří výstupní napětí.

$$V_{\text{OUT}} = 0,8 \left( 1 + \frac{82 \cdot 10^3}{1,1 \cdot 10^6} \right) = 11,53\text{ V}$$

Tato hodnota výstupního napětí vyhovuje požadavkům měřicího převodníku. Zbývá zvolit hodnoty  $R_{\text{ITH}}$  a  $C_{\text{ITH}}$ . V dokumentu [26] není nikde uveden způsob volby, ale ve všech příkladech jsou voleny hodnoty  $10\text{ k}\Omega$  a  $220\text{ pF}$ . Celkové schéma zapojení je součástí Příloha 5.

## 5.2 Tvorba a ladění programu

Program pro mikrokontrolér je plánován poměrně přímočaře. Hodnoty je třeba získávat jen v případě, kdy přijde dotaz od koordinátora sítě vytvořené pomocí technologie IQRF. Dle schématu zapojení bude mikrokontrolér zapnut jen v případech, kdy je třeba zapnout měřicí zařízení a získat od něj hodnoty. Program tedy po zapnutí napájení mikrokontroléru musí inicializovat periferie mikrokontroléru. Bez tohoto kroku by nemohl zajistit zapnutí měřicího zařízení (v tomto případě měřicího převodníku TEP06), což je druhým krokem. Nyní je potřeba dát převodníku TEP06 čas pro jeho vlastní inicializaci. Po této prodlevě je možné vyčíst hodnoty z převodníku. Když jsou hodnoty přečteny je možné převodník vypnout. Následuje předání změřených hodnot pomocí sběrnice SPI. Aby program nečinil žádné nepředloženosti tak nesmí nikdy skončit, z tohoto důvodu je poslední částí programu nekonečná čekací smyčka. Vývojový diagram programu, jenž bude v mikrokontroléru, je k nahlédnutí na Obr. 39.



**Obr. 39: Vývojový diagram programu pro mikrokontrolér brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení**

Program pro IQRF modul, TR-54D, bude obdobný programům v modulech IQRF node. Během příjmu zprávy zapne mikrokontrolér a čeká, než po sběrnici SPI obdrží naměřené hodnoty. Po obdržení naměřených hodnot vypne mikrokontrolér a odešle hodnoty koordinátoru sítě, vytvořené technologií IQRF.

Pro ověření správnosti nastavení modulu TR-54D, byl program v mikrokontroléru upraven tak, aby po zapnutí inicializoval SPI sběrnici a po časové prodlevě odeslal šestici připravených hodnot 0x01020304.

Pomocí IQRF IDE byla přijata zpráva tohoto tvaru:

NADR		PNUM	PCMD	HWPID		ErrN	DPA	PDATA			
01	00	20	80	1F	06	00	0x5E	04	03	02	01
PDATA											
04	03	02	01	04	03	02	01	04	03	02	01
PDATA											
04	03	02	01	04	03	02	01				

Hodnoty přečtené z měřicího převodníku jsou ve tvaru desetinného čísla (float) definovaném normou IEEE-754. Jedná se tedy o proměnné velikosti čtyř bajtů. Převod z přijatých bajtů v datovém poli (PDATA) bude probíhat ve dvou krocích.

Prvním krokem je zpětné složení původních hodnot. Každé čtyři hodnoty v poli PDATA představují jednu hodnotu. Hodnoty bajtů v příkladu jsou uvedeny v šestnáctkové soustavě. Bajty každé hodnoty jsou řazeny od posledního k prvnímu. Pokud by tento postup byl aplikován na hodnoty v přijaté zprávě, byla by šestkrát získána čtveřice 01020304.

Druhým krokem je převedení proměnné typu float, zapsané ve tvaru specifikovaném normou IEEE-754. Pro tento převod je k dispozici mnoho různých stránek a i vývojová prostředí jej běžně používají. Pro příklad je možné použít stránku:

<https://www.h-schmidt.net/FloatConverter/IEEE754.html>

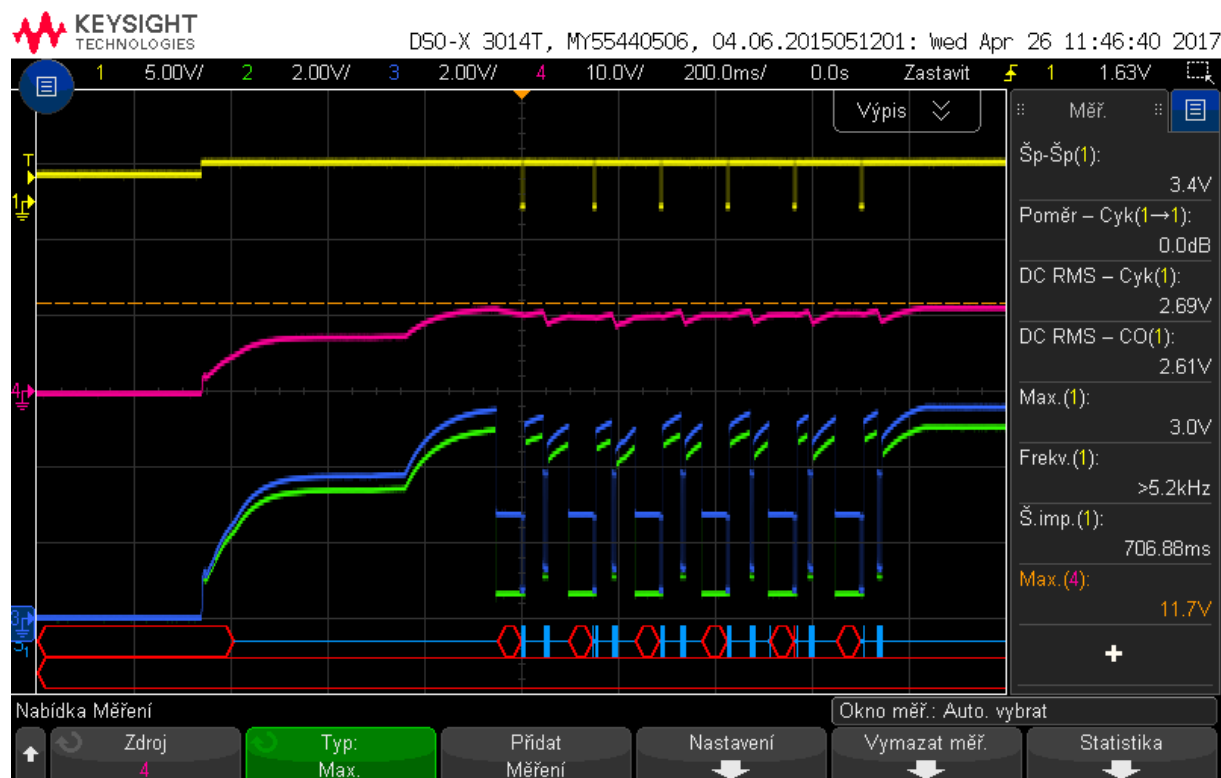
Hodnota použitá v příkladu převedená na desetinné číslo bude po zaokrouhlení  $2,387939 \cdot 10^{-38}$ .

### **5.3 Úpravy vyrobené desky brány**

Při tvorbě části, programu pro mikrokontrolér, která má za úkol vyčítat změřené hodnoty se nedařilo tyto hodnoty vyčíst.

Prvním problémem se ukázala stabilita napájecího napětí převodníku. Při odesílání docházelo k tak velkému poklesu napájecího napětí, že to vedlo k vypnutí převodníku dříve, než stihl odeslat první bajt odpovědi. Mezi svorky pro napájení byl přidán elektrolytický kondenzátor o hodnotě 100  $\mu\text{F}$

16 V. Díky tomuto kondenzátoru, výstupní napětí tolik neklesalo a převodník se tak nevypnul, viz Obr. 40.



**Obr. 40: Změřený časový průběh vyčítání hodnot z měřicího převodníku TEP06, žlutě odesílaný dotaz před driverem sběrnice RS-485, fialově průběh napájecího napětí převodníku, modrá a zelená datové vodiče sběrnice RS-485**

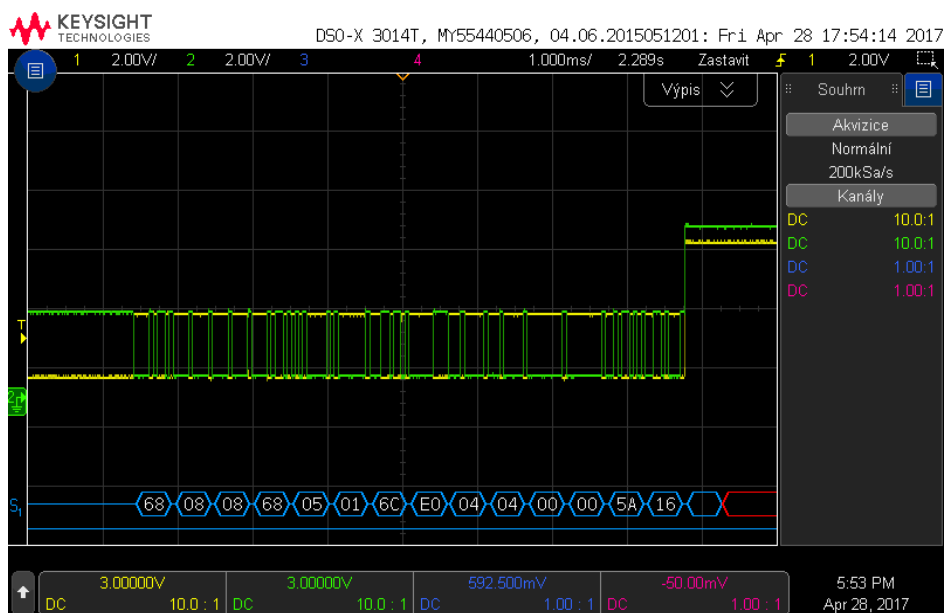
Přesto že se převodník nevypnul a při pohledu s časovou základnou 200 ms na dalek se zdá, že vše probíhá v pořádku, přesto mikrokontrolér nezískal měřené hodnoty. Je tedy třeba blíže se podívat na samotné zprávy.

Nejprve byla pozornost zaměřena na odchozí zprávu. První a čtvrtý bajt mají hodnotu 0x68, což jsou úvodní znak a zopakování úvodního znaku (SD2 a SD2R), jak je uvedeno v kapitole 3.5, ohledně dotazu s daty. Druhý a třetí bajt mají hodnotu 0x08. Ano, počet bajtů dat + 3 (DA+SA+FC) sedí. Pátý a šestý bajt jsou adresy dotazovaného a dotazujícího zařízení. I toto odpovídá protokolu FINET. Sedmý bajt, FC, nabyl hodnoty 0x6C, dotaz čtení dat z jednotky. Sedmý bajt 0xE0 odpovídá službě KS-RDKAN. Osmý bajt 0x04 – měření ze čtvrtého kanálu. Devátý bajt, 0x04, udává měřenou veličinu, tato hodnota odpovídá teplotě. Další bajt má uvádět upřesnění požadavku, ale není třeba jej uvádět. Následující bajt je v současné době Rezerva a nemá zatím přidělený význam. Předposlední bajt, kontrolní součet (FCS).

$$FCS = \left( (DA + SA + FC + \sum DATA.) \% 100 \right)_{HEX}$$

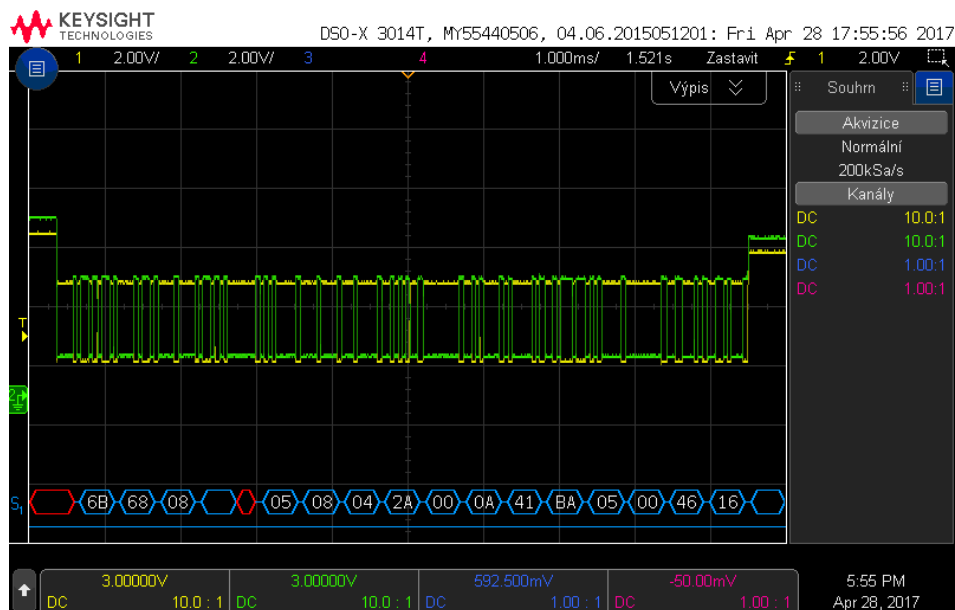
$$FCS = \left( (05 + 01 + 6C + E0 + 04 + 04 + 00 + 00) \% 100 \right)_{HEX} = (15A \% 100)_{HEX} = 5A$$

Ano i kontrolní součet odpovídá. Poslední bajt, ED, také odpovídá hodnotě 0x16. Sečteno podtrženo Vygenerovaný dotaz zachycený na Obr. 41 odpovídá protokolu FINET (popsaném v dokumentu [5]) a neměl by s ním tedy být žádný problém.



**Obr. 41: Změřená odesílaná zpráva, požadavek o změřenou hodnotu z kanálu 4, žlutá a zelená jsou signály sběrnice RS-485, modře je přepis do hodnot šestnáctkové soustavy**

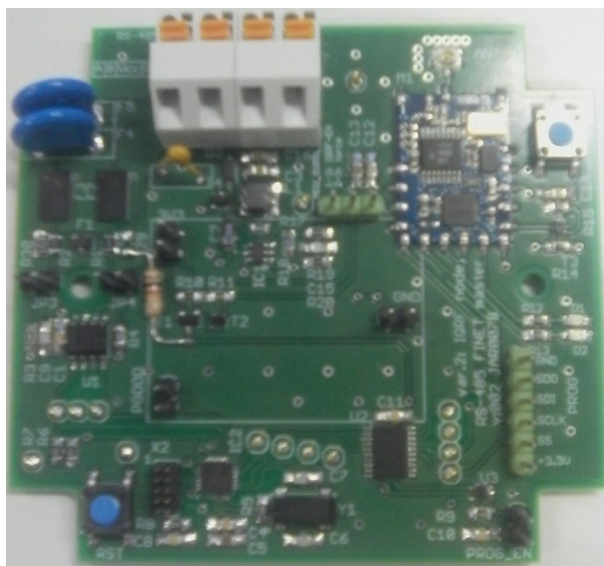
Pozornost byla tedy přenesena na odpověď od měřicího převodníku TEP06. Dle popisu služby KS\_RDKAN by první čtyři bajty měly mít hodnoty 0x68, 0x11, 0x11 a 0x68. Následovat za nimi by měla adresa dotazovacího zařízení 0x01 a adresa dotazovaného zařízení. Při pohledu na zachycenou zprávu na Obr. 42 tomu tak není. Problém je tedy ve zkreslení odpovědi odesílané převodníkem TEP06. Při bližším pohledu je špatně zachycen začátek zprávy, konkrétně prvních několik bitů. Nejspíše tomu tak je při přechodu sběrnice z klidového stavu na přenos dat. K takovému skoku v napěťových úrovních však při dřívějším měření komunikace mezi telemetrickou stanicí a měřicím převodníkem nedocházelo (viz Obr. 12).



**Obr. 42: Změření přijaté zprávy, poškozená zpráva se změřenou hodnotou, žlutá a zelená jsou signály sběrnice RS-485, modře je přepis do hodnot šestnáctkové soustavy**

Při dalším porovnání Obr. 12 a Obr. 40 bylo dosaženo názoru, že „kladným napájecím napětím“ v dokumentu [1], konkrétně v kapitole „2.3.7 Rozhraní RS-485“ tohoto dokumentu, nebylo myšleno napětí napájecí baterie, nýbrž napětí používané integrovanými obvody stanice (nejspíše okolo 3 V).

Původní rezistor  $R_{29}$  byl tedy odebrán a byl nahrazen drátovým rezistorem. Tento nový rezistor byl připojen mezi datový vodič A sběrnice RS-485 a napájecí napětí mikrokontroléru. Upravená deska je vyobrazena na Obr. 43.



**Obr. 43: Upravená deska samotné brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení (varianta 2 deska 2)**



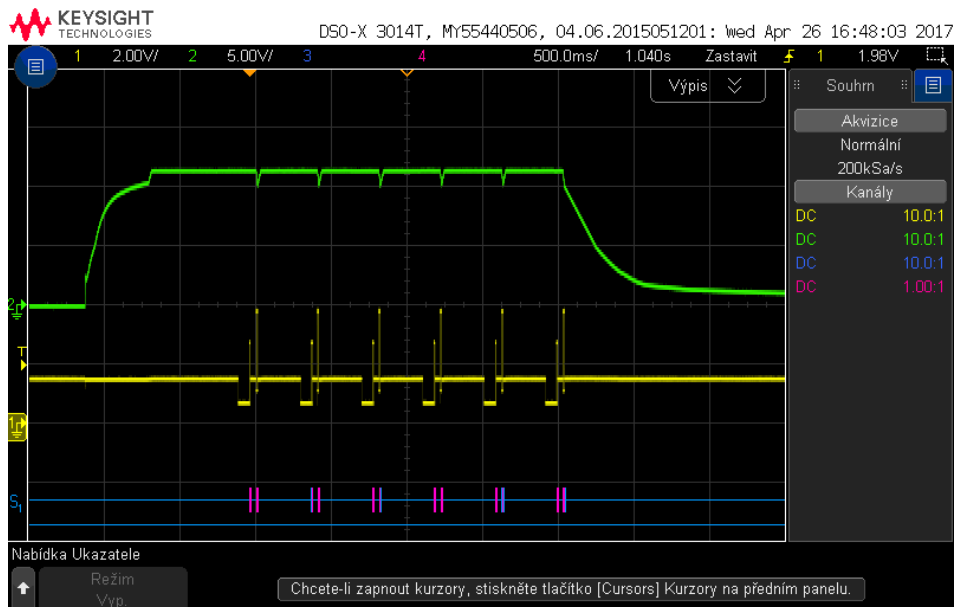
## 5.4 Úprava doby měření hodnot z měřicího převodníku TEP06

Po úpravách provedených v kapitole 5.3, bylo dosaženo úspěšného čtení hodnot z měřicího převodníku TEP06. Na Obr. 44 jsou vidět získané data ze dvou kanálů. Struktura v sobě má všechny údaje získané službou KS\_RDKAN. Převodník, který byl použit pro ladění a později i testování měl připojené jen dva snímače PT100 a to na pozici první a čtvrté. Proto je v mericiKanal[0] zapsána změřená hodnota a chybový kód 0, zatímco v mericiKanal[1] je chybový kód 42 (Přerušeni přívodu k PT100).

Watched Data					
Expression	Value	Location	Size	Refresh	Type
mericiKanal		0x1FFFFFF40	48	2 Hz	struct
[0]		0x1FFFFFF40	8	2 Hz	struct
merena_velicina	4 ('\\004')	0x1FFFFFF40	1	2 Hz	uchar
chybovy_kod	0 ('\\0')	0x1FFFFFF41	1	2 Hz	uchar
format	0 ('\\0')	0x1FFFFFF42	1	2 Hz	uchar
rezerva	10 ('\\n')	0x1FFFFFF43	1	2 Hz	uchar
zmerena_hodnota	1 103 399 808	0x1FFFFFF44	4	2 Hz	long u
[1]		0x1FFFFFF48	8	2 Hz	struct
merena_velicina	4 ('\\004')	0x1FFFFFF48	1	2 Hz	uchar
chybovy_kod	42 ('*')	0x1FFFFFF49	1	2 Hz	uchar
format	0 ('\\0')	0x1FFFFFF4A	1	2 Hz	uchar
rezerva	10 ('\\n')	0x1FFFFFF4B	1	2 Hz	uchar
zmerena_hodnota	1 103 399 808	0x1FFFFFF4C	4	2 Hz	long u
[2]		0x1FFFFFF50	8	2 Hz	struct

Obr. 44: Změřené hodnoty zapsané ve struktuře v mikrokontroléru (obrázek pořízen z prostředí Ozon)

Na Obr. 45 se nachází zachycení čtení dat z měřicího převodníku TEP06 a jeho napájecí napětí. Po úpravách v kapitole 5.3 se vyhladilo i napájecí napětí převodníku a snížily se poklesy napětí při odesílání odpovědi z TEP06.



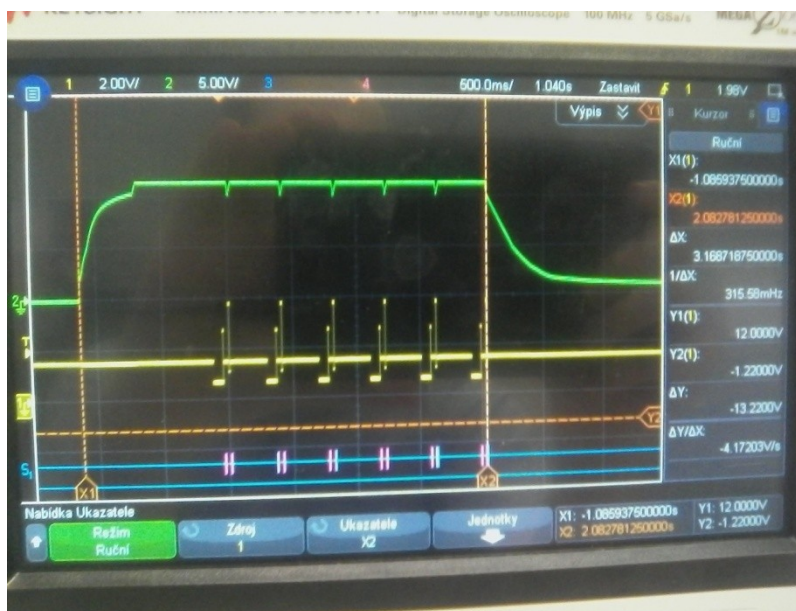
Obr. 45: Získávání hodnot jednotlivých kanálů z měřicího převodníku TEP06, zelenou napájecí napětí převodníku, žlutou signál z kanálu B sběrnice RS-485

Doba, od počátku nabíjení napájecího napětí zelený signál na Obr. 45, odpovídá době kdy je zapnut zvyšovač napětí a tedy je i největší spotřeba elektrické energie bránou. Největší časové úseky v tomto průběhu jsou doby mezi jednotlivými dvojicemi dotaz, odpověď a doba od začátku nabíjení napájecího napětí k prvnímu dotazu. V rámci této kapitoly byly provedeny pokusy se zkracováním těchto dob a hledáním nejmenšího možného času kdy budou kanály vyčteny všechny korektně.

Nejprve doba mezi jednotlivými dotazy. Při jejím snižování pod 280 ms začalo docházet k vyčítání chybové zprávy 16 (probíhá oplach elektrod).

Následovalo nastavování doby od zapnutí napájecího napětí k prvnímu dotazu. V případech, kdy byla tato doba kratší než jedna sekunda, docházelo k vyčítání hodnoty v prvním kanále s chybou 42 (přerušení přívodu k sondě), byť sonda byla korektně připojena. Při dodržení sekundové prodlevy, již byly vyčtené data bez chyby.

Ve chvíli nastavení těchto nejkratších dob, byl odečten čas od počátku náběhu k počátku poklesu napájecího napětí převodníku. Tímto odečtem byla zjištěna hodnota 3,16 s (viz Obr. 46).

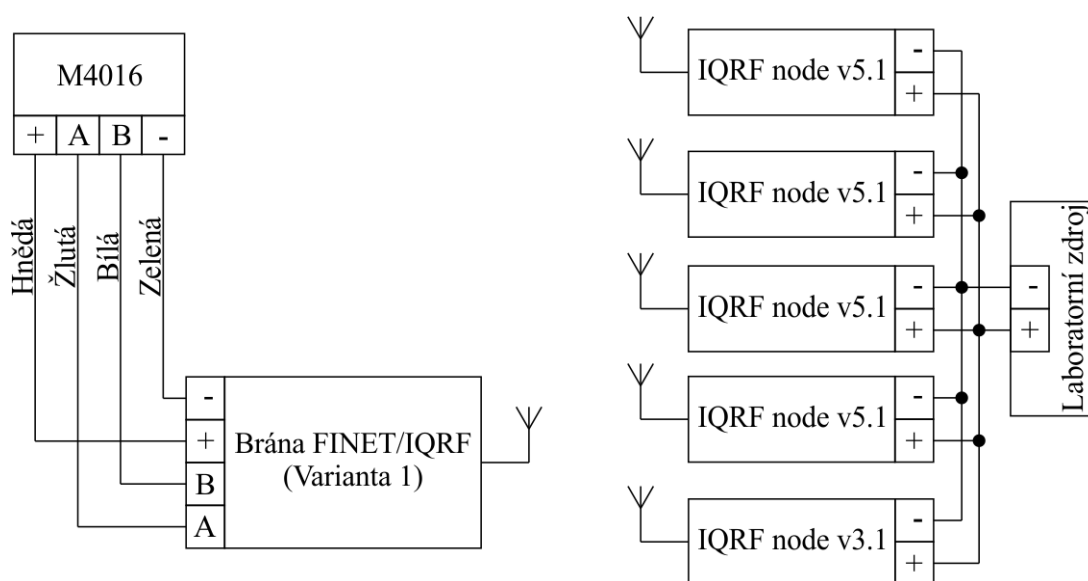


**Obr. 46: Měření nejkratší doby napájení měřicího převodníku TEP06**

## 6 Testování hotových bran

### 6.1 Testování funkčnosti brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě (varianta 1)

Pro testování funkčnosti byla použita vytvořená brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě neboli varianta 1. Deska tištěného spoje na sobě má popis „var.1: IQRF koordinátor RS-485 FINET slave v:005“. Do konektoru pro anténu (ANT) je připojená anténa, Pomocí svorkovnice X1 je brána připojená ke stanici M4016. Stanice byla připojena k počítači pomocí sběrnice RS232. Za IQRF node je použito pět zástupců, jeden v3.1 a čtyři v5.1. IQRF node v3.1 získal adresu 0x0005, o adresy 0x0001 až 0x0004 se podělili moduly IQRF node v5.1. Nody byly napájeny laboratorním zdrojem MATRIX MODEL: MPS-3005L-3, evidenční číslo: 50000021206/0, který byl nastaven na výstupní napětí 3 V. Toto zapojení je zakresleno ve schématu na Obr. 47 a vyfoceno na Obr. 48.



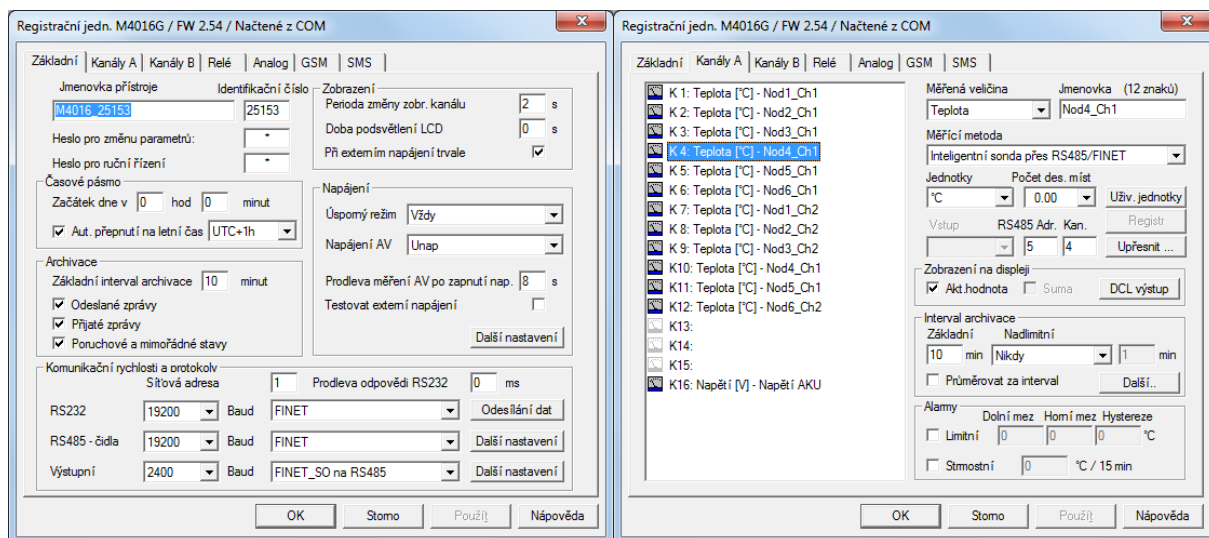
Obr. 47: Schéma zapojení pro testování brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě



Obr. 48: Zapojení pro otestování brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě

Program v bráně byl nahrán během odlaďování, pomocí IQRF modulů byla vytvořená bezdrátová síť. IQRF modul v bráně je koordinátorem této sítě, a jsou k němu přibondovány všechny moduly

IQRF node. Jediné co pro otestování chybělo, bylo nastavení stanice M4016 pro čtení maximálního počtu kanálů z jednoho FINET slave. Nastavení stanice je zachyceno na Obr. 49.



**Obr. 49: Nastavení telemetrické stanice M4016 vlevo, nastavení měřicího kanálu vpravo**

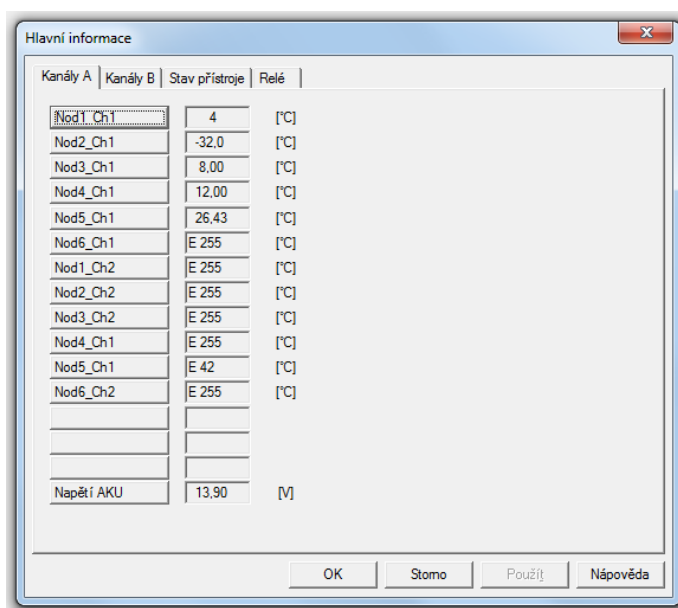
Na Obr. 49 vlevo je nastavení telemetrické stanice, z tohoto nastavení je pro bránu důležité nastavení „Prodleva měření AS po zapnutí nap.“ které udává dobu po kterou je zapnuté napájení brány, než dojde k prvnímu dotazu na změřené hodnoty. Nastavených 8 sekund by mělo bráně poskytnout dostatek času pro shromáždění hodnot ze sítě vytvořené technologií IQRF. Na tomtéž obrázku vpravo je zobrazeno nastavení jednoho měřicího kanálu.

Každý použitý IQRF node je vybaven dvěma měřicími kanály. Ovšem jen na jednom kanále bylo připojeno čidlo. Na Obr. 50 se nachází rozložení hodnot z jednotlivých kanálů v pořadí, v jakém jsou ukládány v bráně. Na tomto obrázku je také viditelná tehdejší teplota v místnosti, v níž se testování provádělo.

Hlavní informace		
Kanály A	Kanály B	Stav přístroje   Relé
Nod1_Ch1	26	[°C]
Nod2_Ch1	26.0	[°C]
Nod3_Ch1	26.00	[°C]
Nod4_Ch1	26.00	[°C]
Nod5_Ch1	26.11	[°C]
Nod6_Ch1	E 255	[°C]
Nod1_Ch2	E 255	[°C]
Nod2_Ch2	E 255	[°C]
Nod3_Ch2	E 255	[°C]
Nod4_Ch1	E 255	[°C]
Nod5_Ch1	E 42	[°C]
Nod6_Ch2	E 255	[°C]
Napětí AKU	13.89	[V]

**Obr. 50: Výstup mostu změřené hodnoty**

Pro otestování schopností převodů i záporných hodnot teploty byly snímače připojené k modulům IQRF node uměle ochlazeny. Jak je patrné z Obr. 51, konkrétně z uzlu (node) kanálu 1, převod hodnot funguje dobře i v případě záporných hodnot.

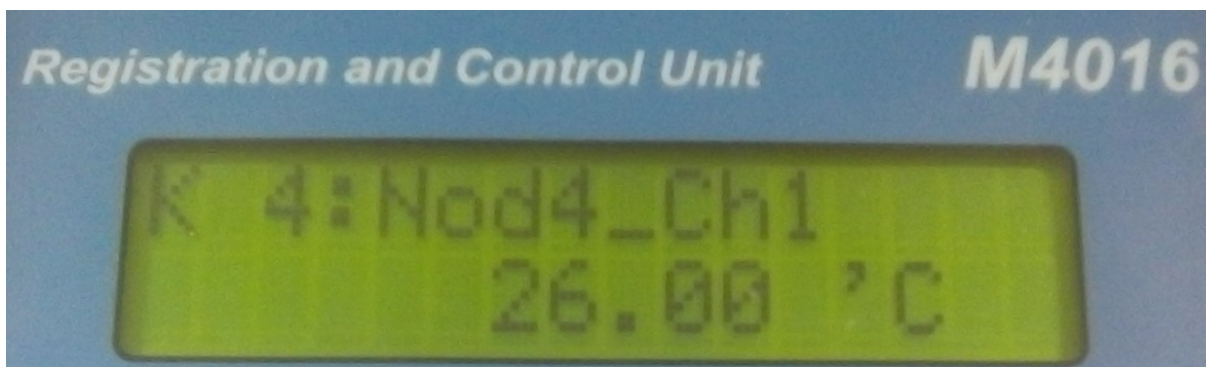


Kanály A	Kanály B	Stav přístroje	Relé
Nod1_Ch1	4	[°C]	
Nod2_Ch1	-32.0	[°C]	
Nod3_Ch1	8.00	[°C]	
Nod4_Ch1	12.00	[°C]	
Nod5_Ch1	26.43	[°C]	
Nod6_Ch1	E 255	[°C]	
Nod1_Ch2	E 255	[°C]	
Nod2_Ch2	E 255	[°C]	
Nod3_Ch2	E 255	[°C]	
Nod4_Ch1	E 255	[°C]	
Nod5_Ch1	E 42	[°C]	
Nod6_Ch2	E 255	[°C]	
Napětí AKU	13.90	[V]	

**Obr. 51: Výstup mostu změřené hodnoty, senzory uměle ochlazen pro otestování že algoritmus převádí i záporné změřené teploty**

Z obou měření je viditelné, že brána převádí změřené hodnoty korektně a nekorektní hodnoty vyhodnotí jako příslušné chyby. Chybový kód E 255 znamená „kanál neobsazen“ a chybový kód E 42 znamená „Přerušení přívodu k PT100“.

Po odpojení brány od počítače se brána přepnula do úsporného režimu, v němž nejsou napájeny připojené měřicí zařízení a tím ani brána. Po stisknutí tlačítka se stanice probudila a obnovila hodnoty měřicích kanálů, změřené hodnoty bylo možné procházet ovládacími tlačítky stanice. Příklad zobrazení změřené hodnoty je na Obr. 52.



**Obr. 52: Změřená hodnota zobrazená na displeji telemetrické stanice M4016**

Po uzavření horního víčka vypadá brána jako nenápadná šedá krabička s anténou a jedním přivedeným kabelem viz Obr. 53.

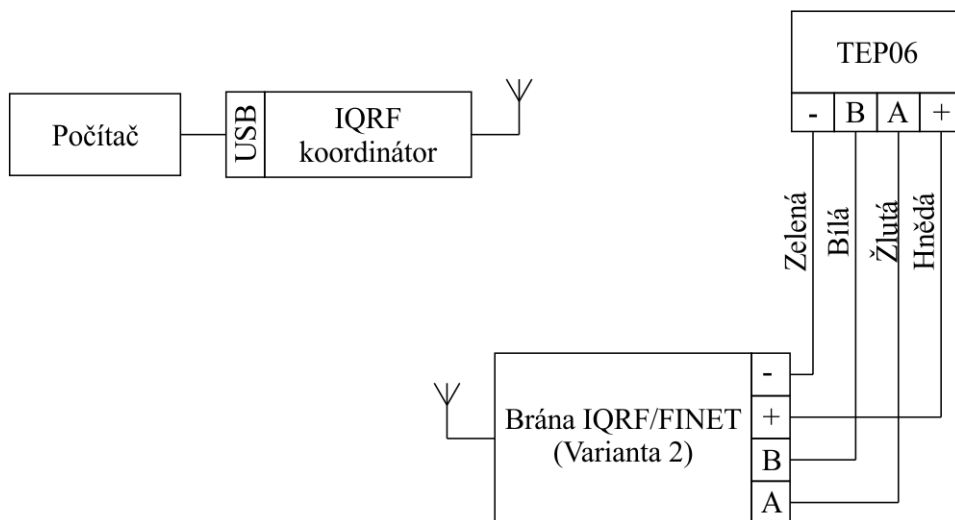


**Obr. 53: Vzhled brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě**

Brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě je tedy funkční a připravená k odevzdání.

## ***6.2 Testování funkčnosti brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení***

Pro testování brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení (varianta 2) bylo připraveno zapojení dle schématu na Obr. 54. Do měřicího převodníku TEP06 jsou připojené dva snímače PT100. Jeden snímač je připojen na kanál 1, druhý na kanál 4. Pomocí IQRF IDE byl modul TR-54D přibondován ke koordinátoru sítě vytvořené technologií IQRF. Samotný test se bude skládat z vyslání dotazu koordinátorem sítě a přijetí odpovědi od brány, obsahující v datovém pole šest hodnot typu float (čtyřbajtové hodnoty).

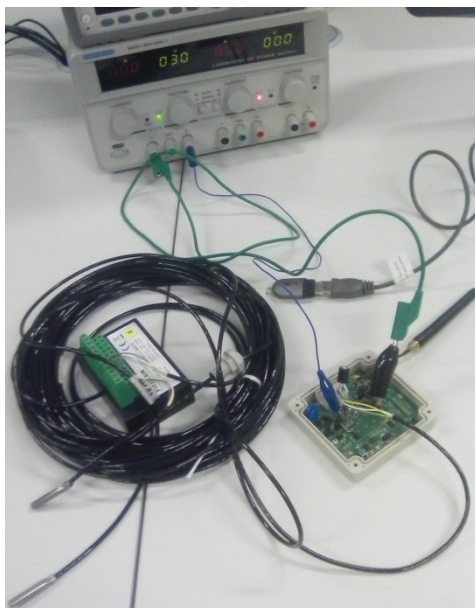


**Obr. 54: Schéma zapojení pro testování brány varianta 2**

Odeslaný dotaz má stejný formát, jako dotazy pro moduly IQRF node. Odpověď však nepřišla. Při měření napětí bylo zjištěno, že v klidovém stavu je napájecí napětí v očekávané hodnotě (okolo 3,3 V). Ale při odeslání dotazu koordinátorem, klesne jeho úroveň na 1,5 V. Tato velikost napětí není, pro žádný obvod v bráně, dostatečná a dojde tak k jejímu vypnutí. Z toho vyplývá, že se deska s čipem ADP5090 chová jako příliš měkký zdroj pro použití v této aplikaci.

Aby byla otestována funkčnost programu, deska s čipem ADP5090 byla nahrazena laboratorním zdrojem.





**Obr. 55: Zapojení pro otestování funkčnosti programu brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení**

Po této úpravě zapojení byl opět odeslán dotaz koordinátorem. V tomto případě byla po 3,732 s od odeslání dotazu přijata odpověď od brány. Výpis zpráv z IQRF IDE je na Obr. 56.

Line	Time	ΔTime	Rx/Tx	Length	Data ASCII	Data HEX
57	10:03:24.008	00:00:21.262	Tx	6	.. ..	01.00.20.00.FF.FF.
58	10:03:24.025	00:00:00.017	Rx	11	.. ....a..	01.00.20.00.FF.FF.FF.61.00.08.00.
59	10:03:27.740	00:00:03.715	Rx	32	.. ....^.\.A.\.A.\.A...A..	01.00.20.80.1F.06.00.5E.80.5C.C5.41.80.5C.C5.41.80.5C.C5..

**Obr. 56: Zaznamenání dotazu koordinátoru, jeho potvrzení a následné přijetí odpovědi od brány**

Na výpisu z Obr. 56 není celá zpráva, celá zpráva vypadá takto:

NADR		PNUM	PCMD	HWPID		ErrN	DPA	PDATA			
01	00	20	80	1F	06	00	0x5E	80	5C	C5	41
PDATA											
80	5C	C5	41	80	5C	C5	41	00	CD	C2	41
PDATA											
00	CD	C2	41	00	CD	C2	41				

Byť byly na měřicí převodník připojeny jen dva snímače PT100, přišlo šest hodnot. Tříkrát přišla hodnota 0x41C55C80 a třikrát přišla hodnota 0x41C2CD00. Hodnota 0x41C55C80 odpovídá po zaokrouhlení 24,67 a hodnota 0x41C2CD00 odpovídá po zaokrouhlení 24,35. Z toho testu vyplývá, že i když nejsou sondy připojeny do převodníku, přesto se do koordinátora dostane šest hodnot. V případě, že jsou dvě po sobě jdoucí hodnoty zcela stejné, pak je vysoká pravděpodobnost že došlo k chybě a převodník zopakoval při dotazu předchozí hodnotu.

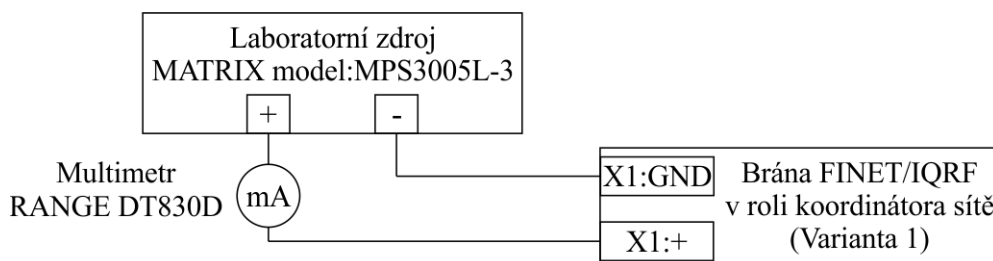
Brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení je funkční. Navržená deska tištěného spoje s čipem ADP5090 se však chová jako příliš měkký zdroj. Proč tomu tak je a jak toto změnit vede k dalšímu výzkumu energy harvesting modulu pro tuto bránu.

### 6.3 Měření potřebného napájení obou bran

U každého elektronického zařízení bývá zvykem uvést technické parametry. Mezi tyto parametry patří například napájecí napětí a odebíraný proud.

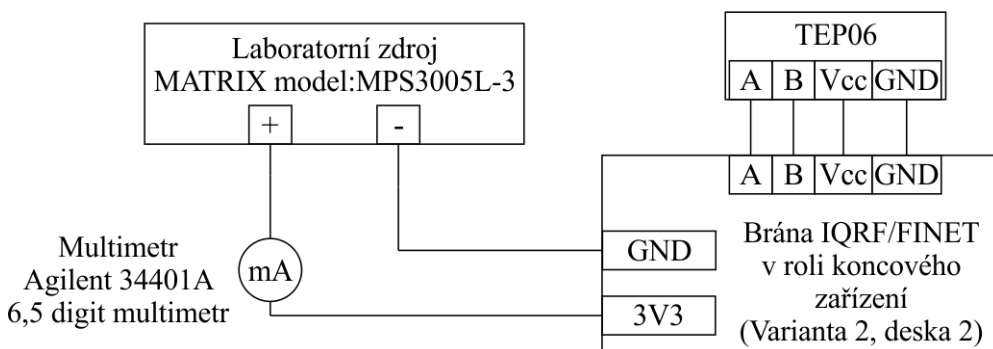
V případě brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě (varianta 1) je napájecí napětí omezeno vlastnostmi regulátoru napětí (LP2980IM5-3.3), jež zajišťuje napětí 3,3 V pro všechny obvody. Jeho doporučené vstupní napětí je od 2,1 V do 16 V a jeho stanovený pokles napětí je 120 mV. [14] Nejnižší napětí, při němž budou splněny požadavky všech použitých obvodů, je 3 V. Z tohoto požadavku, v kombinaci s poklesem napětí na regulátoru, vyplývá: Pro správnou funkčnost je nutné napájecí napětí v rozmezí 3,12 V – 16 V.

Pro změření proudového odběru byla brána připojena k laboratornímu zdroji MATRIX model: MPS3005L-3 a proudový odběr byl měřen multimetrem RANGE DT830D. Schéma zapojení je možné vidět na Obr. 57. Napětí na výstupu zdroje bylo nastaveno na 5,9 V. Změřený proud, odebíraný bránou, byl od 22,5 mA do 25,3 mA.



**Obr. 57: Schéma zapojení měření odebíraného proudu brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě (varianta 1)**

Druhá brána nemá na vstupu žádný regulátor, od desky s energy harvesting modulem se očekává napájecí napětí, jež nepřekročí toleranci žádného z obvodů, které brána obsahuje. Tedy v rozmezí od 3 V do 3,3 V. Pro změření odběru byla brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení bez energy harvesting desky zapojena dle schématu na Obr. 58. Na zdroji byla nastavena hodnota 3 V.



**Obr. 58: Schéma zapojení měření odebíraného proudu brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení (varianta 2, deska 2)**



Z testu v kapitole 6.2 je známo, že se odebíraný proud liší během doby klidu a přibližně tří sekundové doby měření. V klidovém stavu kolísal odebíraný proud od 350  $\mu\text{A}$  do 450  $\mu\text{A}$ . V době měření vzrostl odbíraný proud na 53 mA.

Shrnutí stanovených napětí a změřených odebíraných proudů je přehledně zaznamenán v Tab. 6.

**Tab. 6: Napájecí požadavky bran**

Parametr	varianta 1	varianta 2
Napájecí napětí [V]	3,12 – 16	3 – 3,3
Proudový odběr [mA]	22,5 – 25,5	klid: 350 – 450 $\mu\text{A}$ měření: 53mA po dobu 3,16 s

## 7 Závěr

V návaznosti na projekty, které jsou řešené na katedře kybernetiky a biomedicínského inženýrství se tato práce zabývala návrhem a realizací bran mezi sítěmi IQRF a RS-485 s komunikačním protokolem FINET. Vznikly dvě těchto bran. První varianta, brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě je určena k připojení k telemetrické stanici M4016 a předává této stanici hodnoty změřené pomocí modulů IQRF node. Telemetrická stanice využívá sběrnici s komunikačním protokolem FINET ke komunikaci s bránou. Druhá varianta, brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení je určena k připojení měřicí jednotce (měřicímu převodníku TEP06). Měřicí jednotka využívá ke komunikaci s okolím sběrnici RS-485 s komunikačním protokolem FINET a brána změřené hodnoty předává do sítě vytvořené technologií IQRF.

Kapitola 2 popisovala komunikaci v sítích vytvořených pomocí technologie IQRF. Tato technologie umožňuje poměrně snadné a rychlé vytváření bezdrátových sítí. Byly popsány některé měřicí moduly IQRF node, které katedra využívá v dlouhodobých monitorováních. V kapitole 3 bylo popsání sběrnice RS-485, komunikačního protokolu FINET. Byla popsána také telemetrická stanice M4016 a měřicí převodník TEP 06, který sběrnici RS-485 a protokol FINET využívá k předávání zjištěných hodnot teploty stanici. Kapitola 4 popisuje návrh, realizaci a oživení brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě (varianta 1). Tato brána byla následně připojena k telemetrické stanici M4016, které předávala změřené hodnoty získané pomocí sítě vytvořené technologií IQRF. Kapitola 5 popisuje návrh, realizaci a následné oživení brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení (varianta 2). Tato brána byla připojena k měřicímu převodníku TEP06. Získávala od něj hodnoty a ty pak předávala koordinátoru sítě vytvořené technologií IQRF. V rámci této kapitoly byla také navržena deska tištěného spoje s čipem ADP5090, pro napájení brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení. V kapitole 6 proběhlo testování komunikace obou bran. Brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě má při zapnutí proudový odběr až 25,5 mA a využívá k napájení baterii stanice, k níž je připojená. Brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení v klidovém stavu odebírá proud maximálně 450  $\mu$ A. V době získávání hodnot od měřicího převodníku TEP06 však proudový odběr vzroste na 53 mA po dobu 3,16 s. Pro napájení této brány byla zamýšlena deska tištěného spoje s čipem ADP5090. Při testování se ukázalo, že se však chová jako příliš měkký zdroj napětí. Během klidového stavu neměla problém napájet bránu, při měření však klesalo její výstupní napětí na nepříjemnou úroveň. Proč tomu takto je a úpravy k tomu, aby byla pro tuto aplikaci vhodná, jsou otázkou dalšího výzkumu.

## Seznam použité literatury

- [1] M4016-G(-CS, -KDO): uživatelská příručka verze 1.19. *FIEDLER: Elektronika pro ekologii* [online]. České Budějovice: FIEDLER, 2014 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: [http://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/m4016\\_manual-v119.pdf](http://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/m4016_manual-v119.pdf)
- [2] Profil společnosti. *FIEDLER: Elektronika pro ekologii* [online]. České Budějovice: FIEDLER, 2014 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/cs/spolecnost>
- [3] M4016-G Univerzální řídicí jednotka, průtokoměr. *FIEDLER: Elektronika pro ekologii* [online]. České Budějovice: FIEDLER, 2014 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/cs/produkty/ridici-jednotky-m4016/m4016-g-univerzalni-ridici-jednotka-prutokomer>
- [4] APL-010 rev. 8/2014: Defaultní nastavení adres a měřicích kanálů u sond a snímačů připojovaných přes RS-485 pod protokolem FINET. *FIEDLER: Elektronika pro ekologii* [online]. České Budějovice: FIEDLER, 2014 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: [http://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/apl-010\\_defaultni\\_nastaveni\\_adres\\_mericich\\_sond\\_a\\_snimacu\\_pripojovanych\\_pres\\_RS-485\\_pod\\_protokolem\\_finet.pdf](http://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/apl-010_defaultni_nastaveni_adres_mericich_sond_a_snimacu_pripojovanych_pres_RS-485_pod_protokolem_finet.pdf)
- [5] APL-101 rev. 8/2009: Popis komunikačního protokolu FINET. *FIEDLER: Elektronika pro ekologii* [online]. České Budějovice: FIEDLER, 2014 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/apl-101.pdf>
- [6] APL-100 rev.11/2013: Popis komunikačního protokolu FINET pro sondy. *FIEDLER: Elektronika pro ekologii* [online]. České Budějovice: FIEDLER, 2014 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: [http://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/apl-100\\_popis\\_komunikacniho\\_protokolu\\_finet\\_-\\_sondy.pdf](http://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/apl-100_popis_komunikacniho_protokolu_finet_-_sondy.pdf)
- [7] DVOŘÁČEK, Luděk. *Návrh a realizace snímače toxických plynů s komunikací prostřednictvím protokolu FINET*. Ostrava, 2014. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Martin Pieš, Ph.D.
- [8] Sběrnice RS-422, RS-423 a RS-485. *Root.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. Praha: Root.cz, 2017 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/sbornice-rs-422-rs-423-a-rs-485/#ic=serial-box&icc=text-title>
- [9] TEP06 – měřicí převodník pro 6 teplot. *FIEDLER: Elektronika pro ekologii* [online]. České Budějovice: FIEDLER, 2014 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/cs/produkty/ridici-jednotky-m4016/rozsirujici-moduly-pro-m4016/tep-08-mereni-teplot>
- [10] TEP06 – měřicí převodník pro 6 teplotních snímačů PT100. *FIEDLER: Elektronika pro ekologii* [online]. České Budějovice: FIEDLER, 2014 [cit. 2016-10-06]. Dostupné z: [http://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/datasheet\\_tep06\\_0.pdf](http://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/datasheet_tep06_0.pdf)
- [11] SN65HVD7x 3.3-V Supply RS-485 With IEC ESD Protection. *Farnell element14* [online]. Anglie: Premier Farnell, c2016 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: [http://www.farnell.com/datasheets/1959555.pdf?\\_ga=1.175049442.1380117610.1473918104](http://www.farnell.com/datasheets/1959555.pdf?_ga=1.175049442.1380117610.1473918104)
- [12] SN74CBTLV3245A LOW-VOLTAGE OCTAL FET BUS SWITCH. *Analog, Embedded Processing, Semiconductor Company, Texas Instruments* [online]. Dallas (Texas): Texas Instruments Incorporated., c1995-2016 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74cbtlv3245a.pdf>

- [13] Kinetis KL03 32 KB Flash: 48 MHz Cortex-M0+ Based Microcontroller. *NXP* [online]. The Netherlands: NXP Semiconductors, c2006-2017 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/data-sheets/KL03P24M48SF0.pdf>
- [14] LP2980-N Micropower 50-mA Ultra-Low-Dropout Regulator in SOT-23 Package. *Analog, Embedded Processing, Semiconductor Company, Texas Instruments* [online]. Dallas (Texas): Texas Instruments Incorporated., c1995-2016 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lp2980-n.pdf>
- [15] *IQRF: Technology for wireless* [online]. Valdicke Predmesti: MICRORISC, c2017 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://www.iqrf.org/>
- [16] TR-54D: Transceiver Module. *IQRF: Technology for wireless* [online]. Valdicke Predmesti: MICRORISC, c2017 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://iqrf.org/weben/downloads.php?id=220>
- [17] PIC16(L)F1938/9. *IQRF: Technology for wireless* [online]. Valdicke Predmesti: MICRORISC, c2017 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://iqrf.org/weben/downloads.php?id=214>
- [18] KOZIOREK, Jiří. *Distribované systémy řízení*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2011. ISBN 978-80-248-2599-1
- [19] IQRF DPA Framework. *IQRF: Technology for wireless* [online]. Valdicke Predmesti: MICRORISC, c2017 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://www.iqrf.org/weben/downloads.php?id=481>
- [20] IQRF Quick Start Guide. *IQRF: Technology for wireless* [online]. Valdicke Predmesti: MICRORISC, c2017 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <http://www.iqrf.org/weben/downloads.php?id=235>
- [21] Serial and UART Tutorial. *The FreeBSD Project* [online]. Frank Durda IV, 2017 [cit. 2017-01-17]. Dostupné z: <https://www.freebsd.org/doc/en/articles/serial-uart/>
- [22] PIEŠ, Martin, Martin STANKUŠ a Michal KELNAR. Výzkum možností komplexní revitalizace skládek průmyslového odpadu, včetně využití jejich potenciálu, vývoj měřicích systémů pro dálkový monitoring, tvorba metodických pokynů a vzorových projektů pro provádění revitalizace a optimalizace skládek: Dokumentace k modifikovaným verzím bezdrátových snímačů. VŠB-TUO, 2015.
- [23] SPI Implementation in IQRF For TR-5xB and (DC)TR-5xD: Technical guide. *IQRF: Technology for wireless* [online]. Czech Republic, EU: MICRORISC, c2016 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: [www.iqrf.org/weben/downloads.php?id=429](http://www.iqrf.org/weben/downloads.php?id=429)
- [24] Ultralow Power Boost Regulatorwith MPPT and Charge Management: ADP5090. *Analog Devices* [online]. Norwood: Analog Devices, c2014-2015 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADP5090.pdf>
- [25] Energy Harvesting. *Vysoké učení technické v brně: Centrum nových technologií pro strojírenství* [online]. Brno: NETME Centre Fakulta strojního inženýrství, 2016 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://netme.cz/cs/energy-harvesting/>
- [26] LTC7872: Constant frequency current mode step-up DC/DC Controller in SOT-23. *Linear Technology* [online]. Milpitas: Linear Technology, 2017 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/1872fa.pdf>

## Seznam příloh

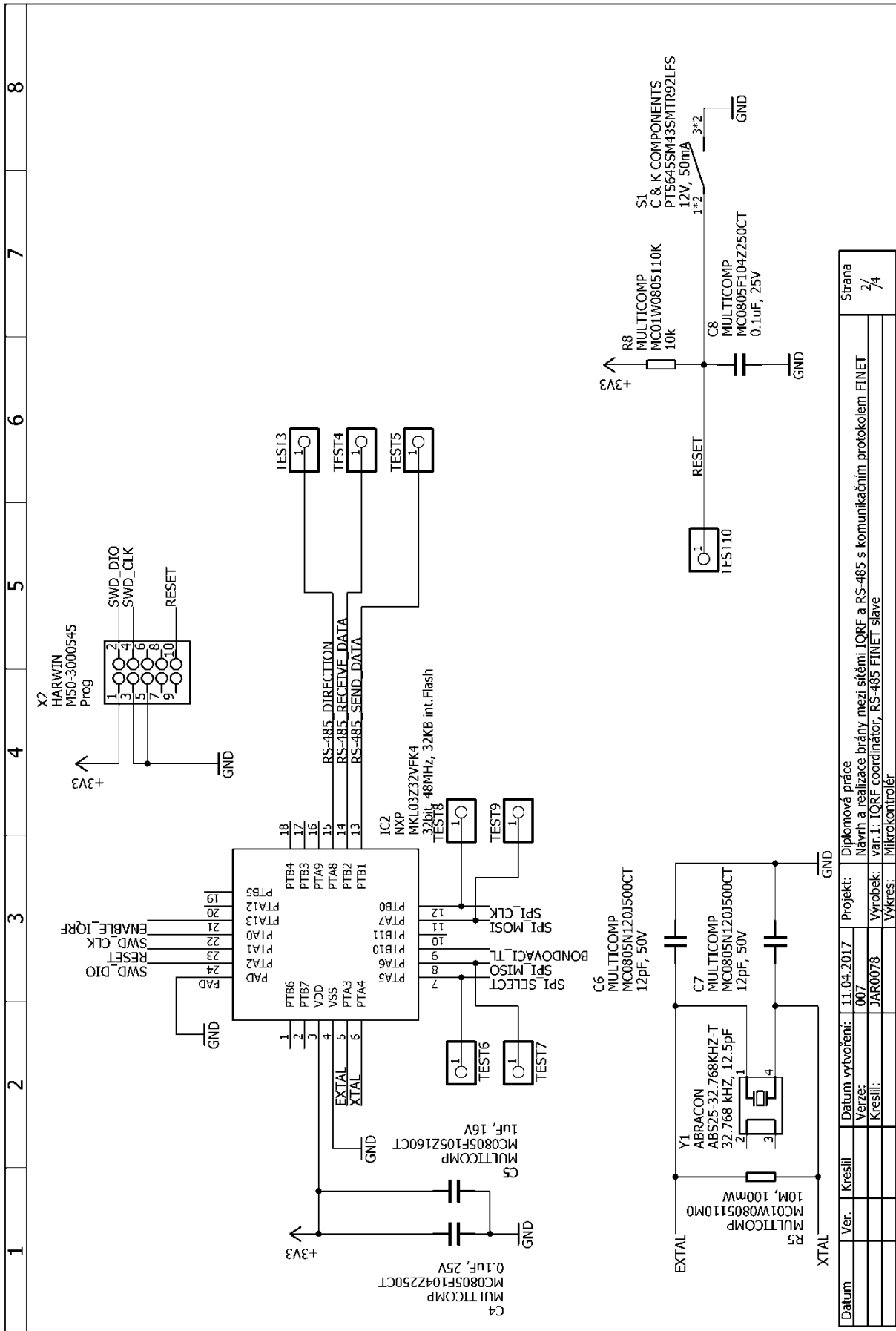
<b>Příloha 1: brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě schéma zapojení .....</b>	<b>I</b>
<b>Příloha 2: brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě návrh desky tištěného spoje .....</b>	<b>VI</b>
<b>Příloha 3: brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení schéma zapojení pro desku tištěného spoje s čipem ADP5090 (varianta 2, deska 1) .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Příloha 4: brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení návrh desky tištěného spoje s čipem ADP5090 (varianta 2, deska 1).....</b>	<b>X</b>
<b>Příloha 5: brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení schéma zapojení vlastní brány (varianta 2, deska 2).....</b>	<b>XII</b>
<b>Příloha 6: brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení, vlastní brána, návrh desky tištěného spoje (varianta 2, deska 2) .....</b>	<b>XVIII</b>

## Seznam příloh na přiloženém CD:

- Program pro mikrokontrolér brány FINET/IQRF v roli koordinátora sítě:  
JAR0078\_DP\_Varianta1 (vytvořený v Kinetis Design Studio IDE 3)
- Program pro mikrokontrolér brány IQRF/FINET v roli koncového zařízení:  
JAR0078\_DP\_Varianta2 (vytvořený v Kinetis Design Studio IDE 3)
- Projekt JAR0078\_DP\_IQRF\_IDE vytvořený v IQRF IDE 4.40, který obsahuje programy pro IQRF moduly obou bran
- Návrhy desek plošných spojů a finální schémata zapojení po úpravách vytvořené v prostředí EAGLE
- Zdrojové soubory kreslených obrázků v textu (z prostředí CorelDRAW X7)
- Elektronická verze této práce vytvořená v prostředí Microsoft Word, její uložená kopie ve formátu PDF/A

## **Příloha 1: brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě schéma zapojení**





Datum	Ver.	Kreslil	Datum vytvoření:	11.04.2017	Projekt:	Diplomová práce	Strana
			Verze:	007		Návrh a realizace brány mezi sítěmi IQRF a RS-485 s komunikačním protokolem FINET	2/
			Kreslil:	JAR0078	Výrobek:	var.1: IQRF koordinátor, RS-485 FINET slave	7/4
					Vykres:	Mikrokontrolér	

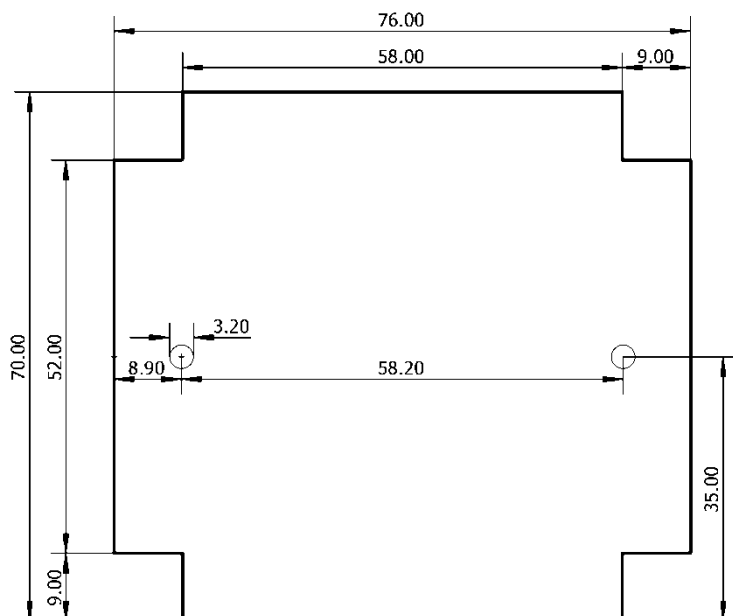




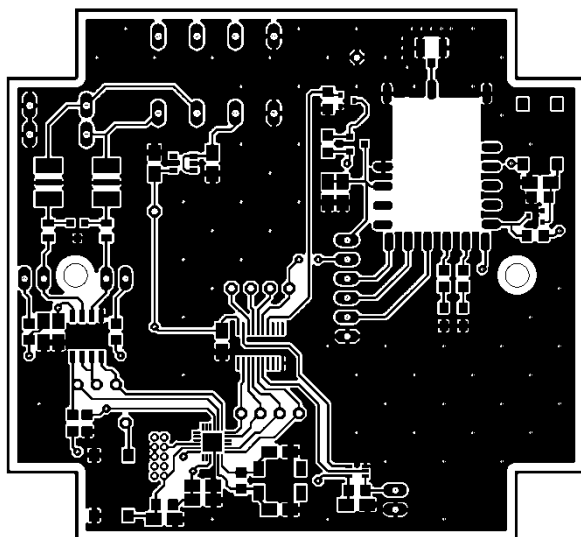


## Příloha 2: brána FINET/IQRF v roli koordinátora sítě návrh desky tištěného spoje

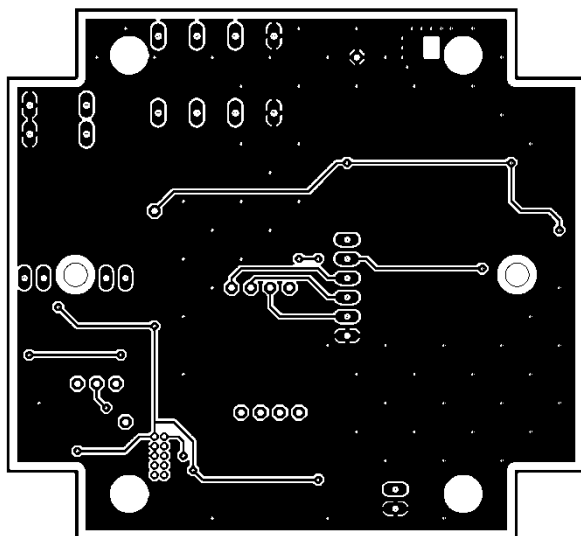
Rozměry desky



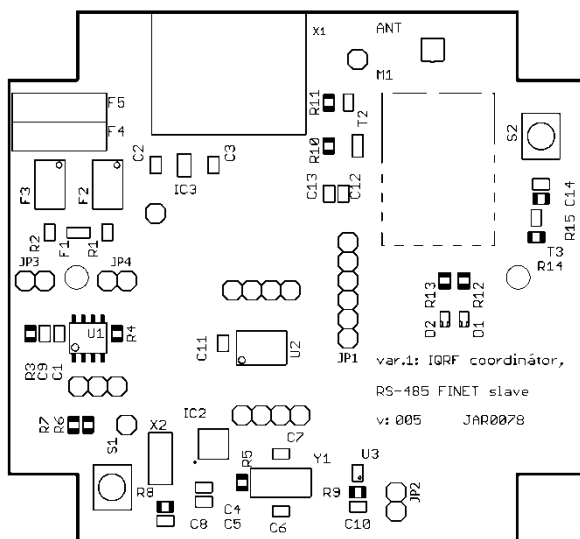
Návrh horní vrstvy (Top)



## Návrh dolní desky (Bottom)



## Rozmístění součástek na desce (Horní potisk)

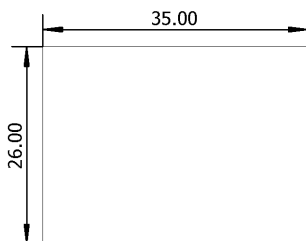


**Příloha 3: brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení schéma zapojení pro desku tištěného spoje s čipem ADP5090 (varianta 2, deska 1)**

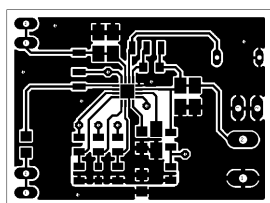


## Příloha 4: brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení návrh desky tištěného spoje s čipem ADP5090 (varianta 2, deska 1)

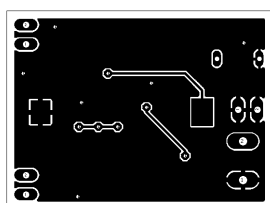
Rozměry desky



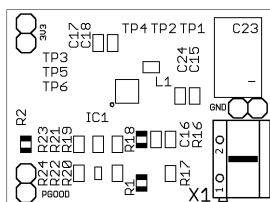
Návrh horní vrstvy (Top)



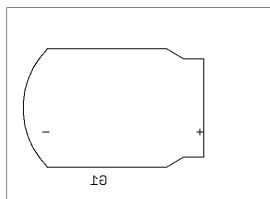
Návrh dolní desky (Bottom)



Rozmístění součástek na desce (Horní potisk)

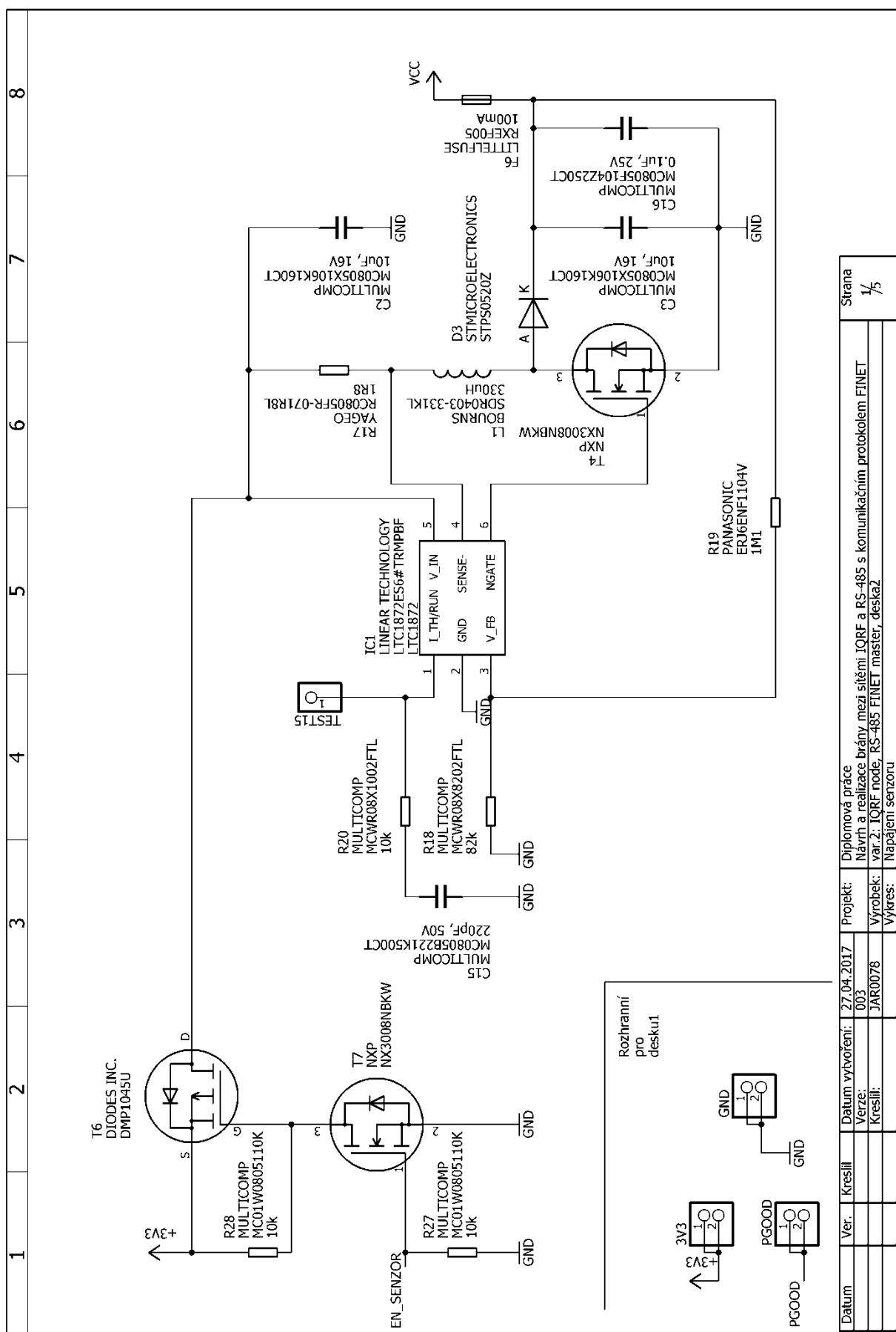


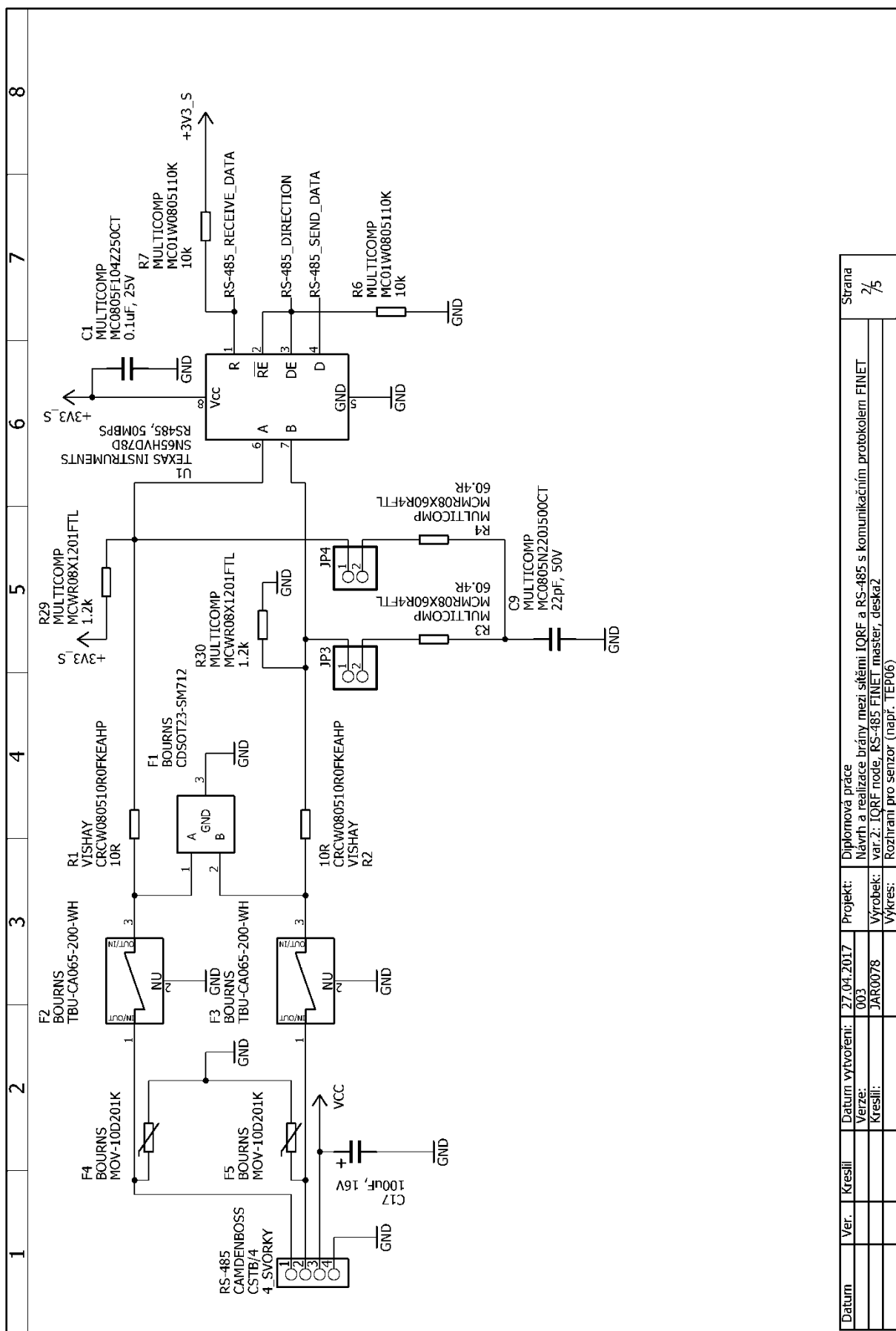
## Rozmístění součástek na desce (Dolní potisk)





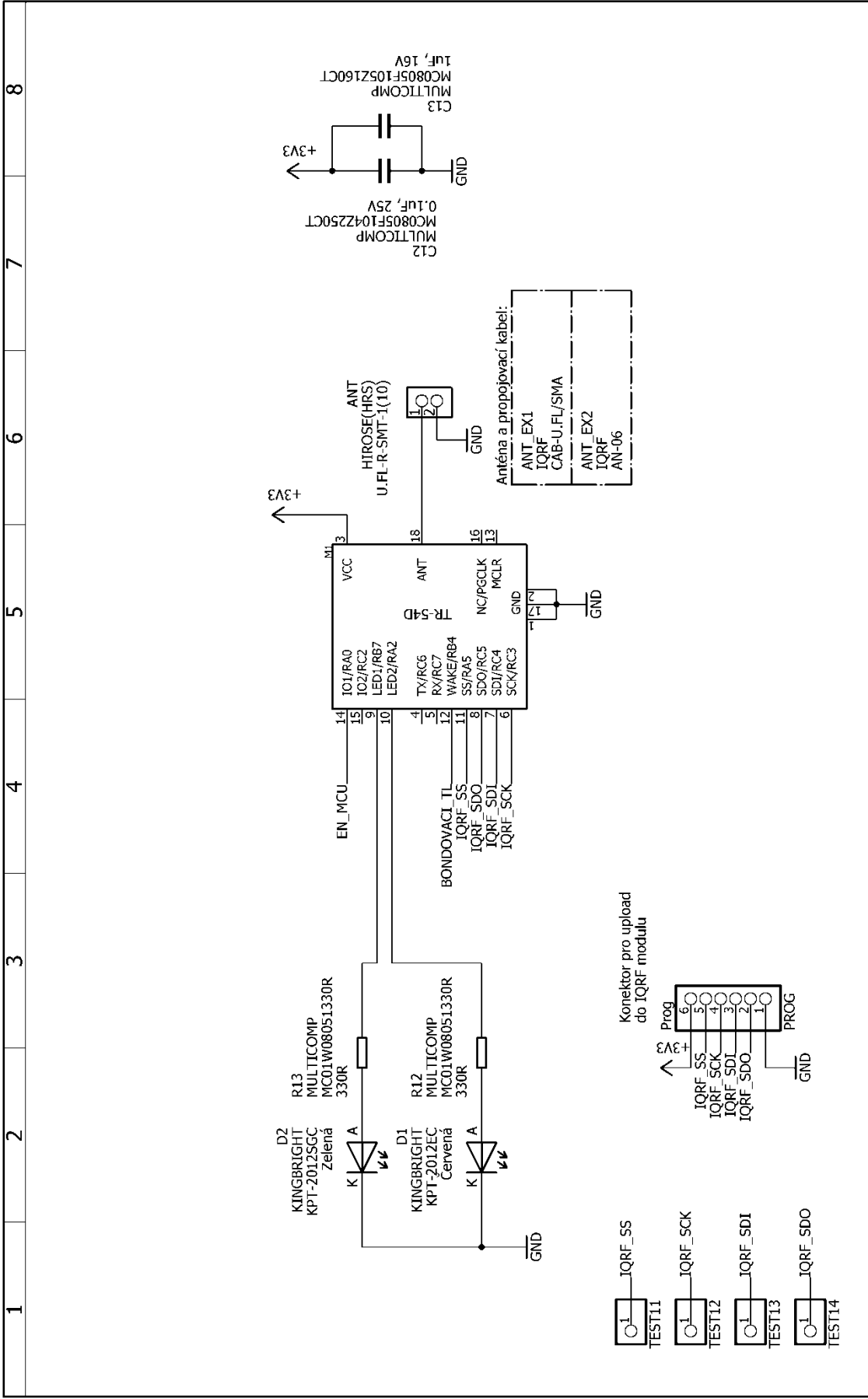
**Příloha 5: brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení schéma  
zapojení vlastní brány (varianta 2, deska 2)**







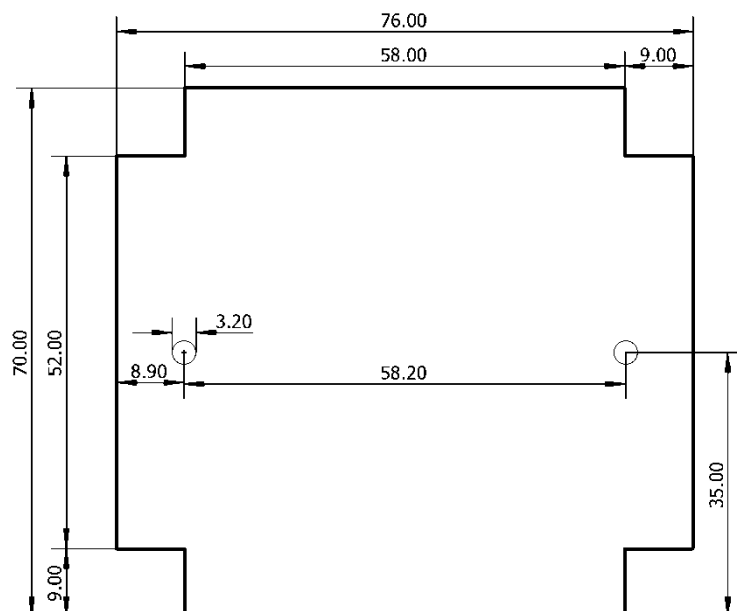




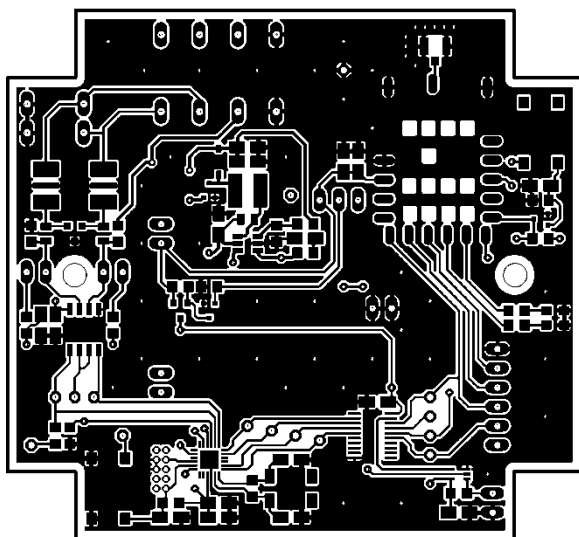
Datum	Ver.	Kreslil	Datum vytvoření	27.04.2017	Projekt:	Diplomová práce	Strana	5/5
			Verze:	003		Návrh a realizace brány mezi sítěmi IQRF a RS-485 s komunikačním protokolem FINET		
			Kreslil:	JAR0078	Výrobek:	var 2: IQRF node RS-485 FINET master, deska2		
					Výkres:	IQRF modul jako koordinátor		

## Příloha 6: brána IQRF/FINET v roli koncového zařízení, vlastní brána, návrh desky tištěného spoje (varianta 2, deska 2)

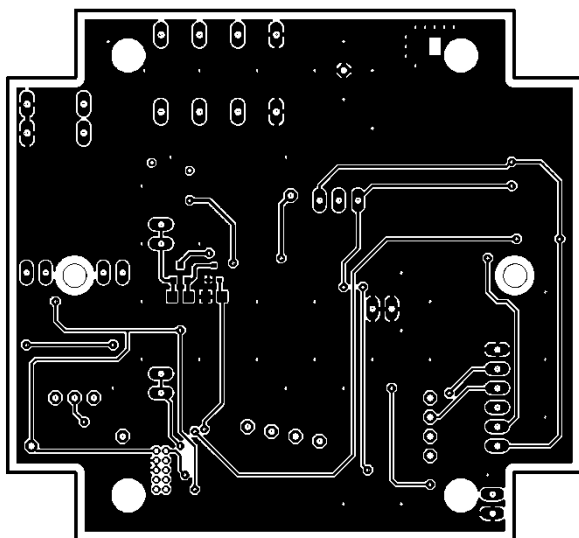
Rozměry desky



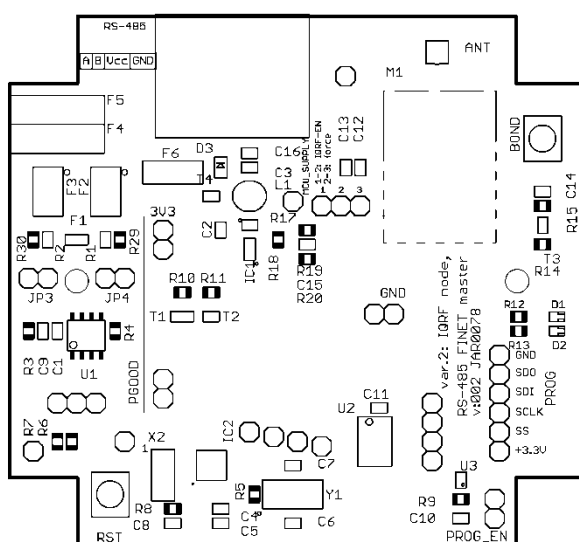
Návrh horní vrstvy (Top)



## Návrh dolní desky (Bottom)



## Rozmístění součástek na desce (Horní potisk)





Rozmístění součástek na desce (Dolní potisk)

